

编号：ZFHK-FB21220057

核技术利用建设项目

新昌县人民医院迁建工程

核医学科、后装机及射线装置核技术利用项目

环境影响报告表

(报批稿)

新昌县人民医院 (挂新昌县人民医院医共体总院牌子)

2022年02月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

新昌县人民医院迁建工程

核医学科、后装机及射线装置核技术利用项目

环境影响报告表

建设单位名称：新昌县人民医院（挂新昌县人民医院医共体总院牌子）

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：新昌县南明街道鼓山中路 117 号

邮政编码：312000

联系人：王瑶

电子邮箱：87653101@qq.com

联系电话：18957563339

目 录

表 1 项目基本情况.....	1
表 2 放射源.....	18
表 3 非密封放射性物质.....	18
表 4 射线装置.....	19
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）.....	20
表 6 评价依据.....	22
表 7 保护目标与评价标准.....	25
表 8 环境质量和辐射现状.....	41
表 9 项目工程分析与源项.....	45
表 10 辐射安全与防护.....	70
表 11 环境影响分析.....	108
表 12 辐射安全管理.....	172
表 13 结论与建议.....	178
表 14 审批.....	183

表 1 项目基本情况

建设项目名称		新昌县人民医院迁建工程核医学科、后装机及射线装置核技术利用项目			
建设单位		新昌县人民医院（挂新昌县人民医院医共体总院牌子）			
法人代表	钱峻	联系人	王瑶	联系电话	18957563339
注册地址		浙江省新昌县南明街道鼓山中路 117 号			
项目建设地点		浙江省新昌县七星街道碓下村			
立项审批部门		新昌县发展和改革局	批准文号	2020-330624-84-02-137735	
建设项目总投资（万元）		5000	项目环保投资（万元）	600	投资比例（环保投资/总投资） 12.0%
项目性质		<input checked="" type="checkbox"/> 新建（迁建） <input type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其他		占地面积（m ² ）	/
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类（医疗使用） <input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III类		
	其他	/			
	<p>1.1 项目概述</p> <p>1.1.1 建设单位简介</p> <p>新昌县人民医院创建于 1950 年，是集医疗、科研、教学、预防为一体的三级乙等综合性医院，是温州医科大学附属新昌医院、绍兴文理学院附属新昌医院。医院现址位于新昌县南明街道鼓山中路 117 号。医院占地面积共 78 亩，总建筑面积 10.6 万平方米，开放床位 1102 张，共设有 30 个病区，35 个科室，现有员工近 1788 人，年门急诊人次 106 万人次，年出入院人次 5 万余人次。医院配有磁共振、CT、计算机摄影成像系统(DR)、</p>				

数字减影血管造影机（DSA）、德国进口康复机器人、质谱仪、虚拟情景和全身运动评估训练系统、数字胃肠机、多通道全自动生化分析仪、彩超仪、电子胃镜、电子肠镜、血透机、动态心电图仪、动态脑电图仪等大型精良设备。现持有辐射安全许可证，证书编号：浙环辐证[D0058]，许可种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，有效期至2026年7月20日。

随着人民群众日益增长的医疗卫生需要，新昌县人民医院现有医疗业务用房和医疗设施已远远不能满足要求，严重制约了医院的发展，现址位于城区闹市，已无扩展空间。因此由新昌县城市建设投资集团有限公司投资，选址在新昌县七星街道磕下村，建设新昌县人民医院迁建工程（新昌县发展和改革局赋码，项目代码为：2020-330624-84-02-137735），项目建成后新昌县人民医院整体搬迁至新址，搬迁后新昌县人民医院原址地块由政府收储整备。新昌县人民医院新址总占地面积75386.8平方米，总建筑面积255280平方米（其中地上建筑面积145480平方米，地下2层，建筑面积109800平方米），建设内容包括包括医疗综合楼楼（裙楼5F，主楼-2-18F，包括门诊急诊、中心医技、综合病房、行政科教）、感染楼、学术交流中心等，以及相应的配套的管理、辅助用房，地下部分医疗用房设置有放疗科和核医学科等。新昌县人民医院迁建工程项目已于2020年12月31日取得绍兴市生态环境局批复，批复文号为：新环建字[2020]99号，新院区拟建地为规划空地，尚未开工建设。

1.1.2 项目建设目的和任务由来

医院现有核技术利用活动已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[D0058]，许可种类和范围：使用Ⅱ类、Ⅲ类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。医院实际在用2台DSA，17台Ⅲ类射线装置，1台直线加速器在建，尚未投入使用，医院乙级非密封放射性物质工作场所许可为内容为 ^{125}I 籽粒植入，实际年使用量不超过 $1.11\times 10^{11}\text{Bq}$ 。

根据医院规划，医院现有在用Ⅲ类射线装置部分拟搬迁至新院区医疗综合楼，部分装置由于使用年限已久，拟报废处理；现有2台DSA，其中1台拟搬迁至新院区医疗综合楼四层北区建设介入中心DSA机房，另1台拟报废；现有1台直线加速器（X射线最大能量10MV，在建），新院区建成前在原院区使用，待新院区建成投入使用后拟搬迁至新院院区医疗综合楼负二层建设放疗科直线加速器机房；老院区粒子植入工作场所依法履行场所退役手续，新院区如开展新的粒子植入项目，应在开展前在建设项目环

境影响备案系统进行备案，取得辐射安全许可证后方可开展。

为更好的满足新昌市及周边患者的医疗需求，拓展医院医疗诊疗项目，新昌县人民医院拟在老院区搬迁设备的基础上，拟新增核医学科、后装治疗、ERCP 介入治疗等核技术利用项目。经与新昌县人民医院核实，本次评价规模如下：

(1) 在医疗综合楼负二层建设核医学科，新购 1 台 SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断；新购 1 台 PET/CT，使用 ^{18}F 核素用于显像诊断；使用 ^{131}I 核素用于甲亢治疗和甲状腺吸碘测定。建设 1 间 SPECT/CT 机房、1 间 PET/CT 机房、1 间分装注射室、1 间给碘室和 1 间服碘室、1 间甲测室、1 间运动负荷室、1 间甲亢观察室、2 间 PET/CT 候检室、1 间 SPECT/CT 候检室、2 间 VIP 室、1 间留观室、1 间抢救室、2 间污洗间等功能用房及控制室、护士站、医生办公、阅片等附属用房。整个核医学科工作场所核素日等效最大操作量为 $2.13\times 10^8\text{Bq}$ ，为乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 在医疗综合楼负二层建设放疗科，拟搬迁 1 台 10MV 医用直线加速器，同时新增 1 台后装治疗机，后装机初装 1 枚活度为 $3.70\times 10^{11}\text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源。建设 1 间直线加速器机房及控制室、水冷机房等辅助用房，建设 1 间后装机房及控制室等辅助用房。根据《关于发布<射线装置分类>的公告》，本项目 10MV 医用直线加速器为 II 类射线装置。根据《放射源分类办法》（国家环保总局公告 2005 年第 62 号）， ^{192}Ir 放射源为 III 类放射源。

(3) 在医疗综合楼四层北区建设介入中心，建设 3 间 DSA 机房及控制室等辅助用房，搬迁 1 台 DSA（另一台 DSA 报废处理），型号为 Allura Xper FD20，拟新购 2 台 DSA，型号待定，3 台 DSA 最大管电压 125kV，最大管电流 1250mA，为 II 类射线装置。

(4) 在医疗综合楼三层北区内镜中心建设 1 间 ERCP 机房及控制室等辅助用房，新购 1 台 ERCP，最大管电压 125kV，最大管电流 900mA，为 II 类射线装置。

(5) 医院现用 III 类射线装置共 17 台，根据医院规划，拟搬迁 10 台 III 类射线装置，搬迁至新院区医疗综合楼一层的放射科、三层的口腔科及四层的手术室，其余 III 类射线装置拟报废。

为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质、放射源和射线装置的使用不对周围环境和公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响

评价分类管理名录》（2021年版）的有关规定的要求，需编制环境影响报告表。为此，新昌县人民医院委托中辐环境科技有限公司开展“新昌县人民医院迁建工程核医学科、后装机及射线装置项目（简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境审批部门审查。

1.1.3 项目建设内容和规模

1.1.3.1 核医学科

（1）建设内容

核医学科拟建于医疗综合楼负二层，建设1间SPECT/CT机房、1间PET/CT机房、1间分装注射室、1间给碘室和1间服碘室、1间甲测室、1间运动负荷室、1间甲亢观察室、PET/CT候检室、SPECT/CT候检室、留观室、抢救室、污洗间等功能用房及护士站、控制室、医生办公、阅片等附属用房。

核医学科工作场所非密封放射性物质使用规模如下：

拟新购1台SPECT/CT，使用 ^{99m}Tc 核素用于显像诊断，每天最多诊断20人，每人最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ （25mCi），则 ^{99m}Tc 日实际最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

拟新购1台PET/CT，使用 ^{18}F 核素用于显像诊断，每天最多诊断20人，每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ （10mCi），则本项目PET/CT的 ^{18}F 日最大操作量为 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。为保证每批次最后一位患者注射 ^{18}F 药物量为10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目拟暂定一天送2次药（上、下午各1次），按照日用药量的2倍进行备药，备药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

拟使用 ^{131}I 核素用于甲状腺吸碘测定（甲测）和甲亢治疗，甲测预计日门诊量不超过5人，单人最大用药量为 $3.70 \times 10^5 \text{Bq}$ ；甲亢治疗预计日门诊量不超过5人，单人最大用药量为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ 。则 ^{131}I 核素日最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

表1.1-1 非密封放射性物质使用情况表

工作场所	核素	单人最大用药量（Bq/人次）	日最大门诊量（人次/天）	日最大操作量（Bq）	年门诊量（人）	年最大使用量（Bq）	用途
核医学科	^{99m}Tc	9.25×10^8	20	1.85×10^{10}	5000	4.63×10^{12}	SPECT/CT 显像
	^{18}F	3.70×10^8	20	7.40×10^9	5000	3.70×10^{12}	PET/CT 显像
				1.48×10^{10}			备药
^{131}I	3.70×10^8	5	1.85×10^9	1250	4.63×10^{11}	甲亢治疗	

	¹³¹ I	3.70×10 ⁵	5	1.85×10 ⁶	1250	4.63×10 ⁸	甲测
--	------------------	----------------------	---	----------------------	------	----------------------	----

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）规定：医疗机构使用¹⁸F、^{99m}Tc相关活动视为“很简单的操作”，使用¹³¹I核素相关活动视为“简单操作”，本项目¹⁸F备药视为“源的贮存”。经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）关于非密封放射性物质工作场所分级的相关规定，本项目核医学科非密封放射性物质日最大等效操作量计算见下表。

表 1.1-2 核医学科非密封放射性物质日最大等效操作量计算表

项目名称	SPECT/CT 显像	PET/CT 显像诊断		甲测	甲亢
核素名称	^{99m} Tc	¹⁸ F (用药)	¹⁸ F (备药)	¹³¹ I	¹³¹ I
日最大操作量/Bq	1.85×10 ¹⁰	7.40×10 ⁹	1.48×10 ¹⁰	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁹
毒性分组	低毒	低毒	低毒	中毒	中毒
毒性组别修正	0.01	0.01	0.01	0.1	0.1
性状	液态	液态	液态	液态	液态
操作方式	很简单操作	很简单操作	源的贮存	简单操作	简单操作
方式与状态修正因子	10	10	100	1	1
日等效最大操作量/Bq	1.85×10 ⁷	7.40×10 ⁶	1.48×10 ⁶	1.85×10 ⁵	1.85×10 ⁸
合计	2.13×10 ⁸				

整个核医学科工作场所经计算日等效最大操作量为 2.13×10⁸Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目 PET/CT 拟配置校准源，校准源枚数及活度暂未确定，校准源一般为 V 类放射源，因此本环评不对其进行评价。待医院确定校准源枚数及活度后，在校准源购买前应履行相关环评手续，并应在辐射安全许可证上进行登记。

本项目放射性核素均通过外购获得，建设单位应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

(2) 工作人员及工作制度

本项目核医学科实行 8h 单班工作制度，年工作日为 250 天。本项目核医学科拟配备辐射工作人员 14 人，包括主任医生、护士、技师等，均为新招聘人员。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目新增辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台

参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

1.1.3.2 放疗科

(1) 建设内容

本项目放疗科位于医疗综合楼负二层，建设 1 间医用直线加速器机房及配套用房，搬迁 1 台 10MV 医用直线加速器开展肿瘤治疗，为 II 类射线装置；建设 1 间后装机房及配套用房，购置 1 台后装机，拟使用 1 枚出厂活度为 $3.70 \times 10^{11} \text{Bq}$ 的 ^{192}Ir 放射源，为 III 类源。放疗科机房西侧拟配 1 台模拟定位机，由建设单位另行在建设项目登记备案系统登记备案。

表 1.1-4 直线加速器的主要技术参数

设备名称	数量	主要技术参数								
		源轴距	X 射线能量	最大电子能量	最大剂量率 ($\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$)	最大照射野	等中心高度	机架旋转角度	最大出束角度	X 射线泄漏率
直线加速器	1 台	100cm	6MV	15MeV	8.4×10^8	40cm×40cm	1.30m	±180°	28°	≤0.1%
			10MV		3.6×10^8					

放射源 ^{192}Ir 的物理特性表如表 1.1-5 所示。

表 1.1-5 ^{192}Ir 放射源主要参数表

核素名称	数量	类别	半衰期(d)	衰变类型及其分支比 (%)	出厂活度 (Bq)	平均 γ 射线能量 (MeV)	空气比释动能率常数 [$\mu\text{Sv}/(\text{h} \cdot \text{MBq})$]
^{192}Ir	1	III	74.02	γ 衰变, β 衰变 (95.22%) 电子俘获 (4.78%)	3.70×10^{11}	0.37	0.111

(2) 设备使用情况

①直线加速器：根据 GBZ/T201.2-2011 附录 A，医院典型加速器工作负荷取 W 取 1500Gy/周。本项目加速器在 X 射线最大为 10MV 时等中心处治疗模体内参考点的常用最高吸收剂量率 (D_0) 为 6Gy/min，周治疗照射时间为： $t=W/D_0=1500(\text{Gy}/\text{周})/6(\text{Gy}/\text{min})=250\text{min}/\text{周}=4.2$ 小时/周，年工作 250 天，则加速器年出束时间为 210h。

②后装机：根据医院提供资料，后装机每天最大工作量为 15 人次，每周工作 5 天，参考《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T203.2-2014) 中附录 F.1 的“示例条件与基本参数”，平均每位患者的治疗照射时间为 6min，则周治疗时间为 7.5h，年工作 250 天，则后装机年出束治疗时间为 375h。

(3) 人员配备及工作制度

本项目放疗科直线加速器配置 6 名辐射工作人员，包括 2 名医师、2 名技师和 2 名

物理师，为新增辐射工作人员，后装机配备4人，包括1名医师、1名物理师、2名技师，为新聘辐射工作人员。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告2019年第57号），本项目新增辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

1.1.3.3 介入中心

(1) 建设内容

本项目拟在医疗综合楼四层北区建设3间DSA机房及控制室等辅助用房，拟搬迁1台DSA用于影像诊断和介入治疗，型号为Allura Xper FD20，最大管电压125kV，最大管电流1250mA；拟新购2台DSA，型号待定，最大管电压125kV，最大管电流1250mA。3台DSA主束方向由下朝上，均为II类射线装置。

(2) 设备使用情况

根据医院提供资料，本项目单台DSA年最大手术量为400台，主要开展心内科介入、脑血管介入、神经介入等手术。按照1台手术减影曝光时间取1min，透视时间取20min，则单台DSA减影过程年总曝光时间均为6.7h，透视过程年总曝光时间均为133.3h。DSA最大运行工况和设备使用情况详见表1.1-8。

表 1.1-8 本项目 DSA 最大运行工况和使用情况

设备	手术量	最大运行工况		曝光时	年出束时间
		减影	透视		
DSA1	400 台/年	减影	100kV, 500mA	6.7h	140h
		透视	80kV, 20mA	133.3h	
DSA2	400 台/年	减影	100kV, 500mA	6.7h	140h
		透视	80kV, 20mA	133.3h	
DSA3	400 台/年	减影	100kV, 500mA	6.7h	140h
		透视	80kV, 20mA	133.3h	

(3) 人员配置

本项目3台DSA拟配置工作人员36名，其中19人为原辐射工作人员，其他为新增辐射工作人员，包括手术室医生20人，护士10人，技师6人。DSA机房配置的工作人员总共分为10组，机房内固定配置2名技师，每台手术配备2名手术医生，1名护士，每组手术医生或护士年手术台数不大于120台，则透视过程年最大曝光时间为40h。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部

公告 2019 年第 57 号)，本项目新增辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

1.1.3.4 内镜中心

(1) 建设内容

本项目拟在医疗综合楼三层北区内镜中心建设 1 间 ERCP 机房及控制室等辅助用房，拟新购 1 台 ERCP 用于经内镜逆行胰胆管造影介入手术，型号待定，最大管电压 125kV，最大管电流 900mA，主束方向由下朝上，为 II 类射线装置。

(2) 设备使用情况

根据医院提供资料，本项目 ERCP 年最大手术量为 300 台，主要开展经内镜逆行胰胆管造影介入手术。按照 1 台手术减影曝光时间取 1min，透视时间取 20min，则 ERCP 减影过程年总曝光时间均为 5h，透视过程年总曝光时间均为 100h。RECP 最大运行工况和使用情况详见表 1.1-8。

表 1.1-8 ERCP 最大运行工况和使用情况

设备	手术量	最大运行工况		曝光时间	年出束时间
		减影	100kV, 400mA	5h	
ERCP	300 台/年	透视	80kV, 10mA	100h	105h

(3) 人员配置

本项目 ERCP 拟配置工作人员 5 名，为新增辐射工作人员，包括医生 2 人，护士 2 人，技师 1 人。工作人员总共分为 2 组，每台手术配备 1 名手术医生，1 名护士，每组手术医生或护士年手术台数不大于 150 台，则透视过程年最大曝光时间为 50h。

根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），新增辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

1.1.3.5 搬迁 III 类射线装置

(1) 搬迁内容

根据医院规划，医院现有 17 台 III 类射线装置，拟搬迁其中 10 台，报废 7 台，搬迁场所位于新院区医疗综合楼。其中 DR、CT、胃肠机、乳腺钼靶机拟搬迁至医疗综合楼一层北区放射科，C 臂机拟搬迁至医疗综合楼四层手术室，口腔全景机和牙片机拟搬迁至医疗综合楼三层南区口腔科。车载 DR 搬迁至新院区使用。拟搬迁和报废情况详见表 1.1-10。

表 1.1-10 医院在用Ⅲ类射线装置搬迁情况表

序号	装置名称	规型号	类别	活动种类	老院区使用场所	备注
1	CT	Brillance	Ⅲ类	使用	放射科 1 号 CT 机房	报废
2	DR	DR-VS	Ⅲ类	使用	放射科 DR2 机房	报废
3	胃肠机	HRF-3	Ⅲ类	使用	放射科	搬迁
4	乳腺钼靶机	Selenia Dimensions	Ⅲ类	使用	放射科	搬迁
5	X 线摄影机	VR630	Ⅲ类	使用	放射科 DR1 机房	搬迁
6	床边 X 线机	Polymobilpus	Ⅲ类	使用	急诊室	搬迁
7	CT	GE Optima CT 540	Ⅲ类	使用	放射科 2 号 CT 机房	搬迁
8	X 线摄影机	KXO-15R	Ⅲ类	使用	放射科	报废
9	床边 X 线机	AR30	Ⅲ类	使用	急诊室	报废
10	C 臂机	BvEndura	Ⅲ类	使用	手术室	搬迁
11	C 臂机	Compact L	Ⅲ类	使用	手术室	报废
12	牙科全景机	ORTHOPHOS XG	Ⅲ类	使用	口腔科	搬迁
13	X 线摄影机	VR630	Ⅲ类	使用	健康管理中心	报废
14	X 线摄影机	HM-32	Ⅲ类	使用	ICU	报废
15	牙片机	HELIODENT PLUS D3507	Ⅲ类	使用	口腔科	搬迁
16	CT	东芝	Ⅲ类	使用	放射科 3 号 CT 机房	搬迁
17	车载 DR	ORICH	Ⅲ类	使用	移动医疗车	搬迁

(2) 人员配置

医院现有 51 名操作Ⅲ类射线装置辐射工作人员，搬迁Ⅲ类射线装置辐射工作人员沿用现有辐射工作人员。

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置

新昌县人民医院迁建工程位于新昌县七星街道磕下村。医院地块东侧为新中路，隔路为卧龙新村，南侧为孝行路，隔路为磕下村；西侧隔河道为金城文锦东苑小区；北侧为新和成路，隔路为新昌县七星小学和新昌技师学院七星校区。

1.2.2 项目周边环境关系

(1) 本项目外环境关系

本项目核医学科和放疗科位于医疗综合楼负二层地下最北侧，介入中心 3 间 DSA 机房位于医疗综合楼 4 层北区，内镜中心 1 间 ERCP 机房位于医疗综合楼 3 层北区，放射科位于医疗综合楼 1 层北区，口腔科位于医疗综合楼三层的南区，手术室医疗综合楼四层的北区，均位于医院主体建筑内。

放疗科辐射工作场所边界东侧距离医院用地红线约 74m，南侧距离医院用地红线约 190m，西侧距离医院用地红线约 250m，北侧距离医院用地红线约 15m，隔路距离新昌技师学院七星校区约 55m。放疗科机房边界 50m 范围内主要为医疗综合楼、内部停车场及道路。

核医学科辐射工作场所边界东侧距离医院用地红线约 172m，南侧距离医院用地红线约 186m，西侧距离医院用地红线约 168m，北侧距离医院用地红线约 15m，隔路距离新昌技师学院七星校区约 55m，距离西北侧新昌县七星小学约 108m。核医学科工作场所边界 50m 范围内主要为医疗综合楼、内部停车场及外部道路。

DSA 机房边界东侧距离医院用地红线约 58m，南侧距离医院用地红线约 154m，西侧距离医院用地红线约 250m，北侧距离医院用地红线约 47m，隔路距离新昌技师学院七星校区约 87m。DSA 机房边界 50m 范围内主要为医疗综合楼、内部地面停车场及外部道路。

内镜中心 ERCP 机房边界东侧距离医院用地红线约 135m，南侧距离医院用地红线约 152m，西侧距离医院用地红线约 202m，北侧距离医院用地红线约 63m。DSA 机房边界 50m 范围内主要为医疗综合楼、内部绿地。

放射科机房边界东侧距离医院用地红线约 120m，南侧距离医院用地红线约 112m，西侧距离医院用地红线约 150m，北侧距离医院用地红线约 55m。

口腔科牙科全景机房和牙片机房东侧距离医院用地红线约 30m，南侧距离医院用地红线约 72m，西侧距离医院用地红线约 206m，北侧距离医院用地红线约 142m。

C 臂机房位于医疗综合楼四层北区手术室，机房东侧距离医院用地红线约 90m，南侧距离医院用地红线约 120m，西侧距离医院用地红线约 126m，北侧距离医院用地红线约 53m。

衰变池位于医疗综合楼北侧绿化带，埋地设置，距离北侧新昌技师学院建筑物约 45m。

本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑、内部停车场及道路，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点，仅衰变池北侧 50m 范围内涉及新昌技师学院建筑物。医院地理位置见附图 1，周边环境关系详见附图 2、医院总平面布置详见附图 4。

(2) 本项目工作场所四至关系

核医学科位于医疗综合楼负二层北侧，东侧为核医学科候诊区，再东侧为 18m 为放疗科，南侧为核医学科办公室、库房，隔办公室约 4m 为生活水泵房，再南侧为档案室，西侧为负二层地下车库，北侧为土层。楼上为设备房、药库、维修间等，无地下层。

放疗科直线加速器机房和后装机房位于医疗综合楼负二层北侧，直线加速器和后装机机房东西并排。机房东侧为负二层地下车库，南侧为控制室、水冷机房、候诊区，西侧为楼梯，北侧为土层，加速器楼上为封闭空间，后装机楼上为设备用房，无地下层。

介入中心位于医疗综合楼四层的北区，DSA 机房 1~3 一字并排。DSA 机房 1~3 东侧控制室和设备间，南侧为污物走廊，西侧为污物走廊，北侧为洁净走廊，楼上为病房区的护士站、医生办公等，楼下为分子实验室和细胞实验室。

内镜中心位于医疗综合楼三层的北区，ERCP 机房东侧为处置室，南侧为其他内镜室，西侧为控制室，北侧为走廊。楼上为手术恢复室，楼下为医生值班室、办公室。

放射科位于医疗综合楼一层的北区，放射科东侧为候诊大厅，南侧为核磁共振机房，西侧为会议室、医生办公等区域，北侧为住院大厅。楼上为超声中心，楼下为食堂。

口腔科位于医疗综合楼三层的南区，机房东侧为控制室，南侧和西侧为走廊，北侧为牙科诊室，楼上为输血科用房，楼下为妇产科的清洗间和污洗间。

C 臂机房东侧和北侧为洁净通道，南侧为其他手术室，西侧为污物通道，楼上为手术库房，楼下为病理科去污区。

1.2.3 相关规划及选址合理性分析

《新昌县人民医院迁建工程环境影响报告书》已取得绍兴市生态环境局批复，批复文号为：新环建字[2020]99 号，本项目为其批复内容。根据其报告书结论，新昌县人民医院迁建工程用地性质为医疗卫生（兼容商业）用地，符合新昌县土地利用总体规划合新昌县总体规划要求。项目建设符合《新昌县“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。

项目核医学科选址于医疗综合楼负二层北侧，不毗邻儿科、产科、食堂等部门，各功能用房集中设置，设有单独的出入口，且出入口为地下车库和地面绿化；放疗科机房选址于医疗综合楼负二层北侧，无地下层，机房集中设置；DSA 和 ERCP 选址于医疗综合楼北区四层和三层，DSA 机房集中设置。放射科选址于医疗综合楼北区一层，各机房集中设置，衰变池位于医疗综合楼北侧，绿化埋地设置。本项目各拟建辐射工作场所边界外 50m 范围无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环

境敏感点，衰变池北侧 50m 范围涉及新昌技师学院建筑物。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目符合相关规划，选址合理。

1.3 产业政策符合性

根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订），本项目核医学科和放疗科属于第六项“核能”中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策；

本项目新增DSA、ERCP及其他III类射线装置属于第十三项“医药”中第五条“新型医用诊断医疗器械设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

1.4 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在放射诊断和放射治疗过程中，对非密封放射性物质、放射源和射线装置的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质、放射源和射线装置的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质、放射源和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.5 新昌县“三线一单”生态环境分区管控方案符合性分析

根据《新昌县“三线一单”生态环境分区管控方案》，本项目位于浙江省绍兴市新昌县中心城镇生活重点管控单元（ZH33062420010），新昌县生态环境分区管控单元图见附图 15。

本项目为医院核技术利用项目，不属于本单元限制类产业，符合空间布局约束；本

项目为医院核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放。项目建设有放射性废水、放射性废气及放射性固废处理措施，各放射性废物经衰变处理达标后排放，符合污染物排放管控要求；项目正式运行前医院按要求编制辐射事故应急预案，建立常态化隐患排查机制，因此符合环境风险防控要求。本项目能源主要为电能，符合资源开发效率要求。本项目符合新昌县“三线一单”生态环境分区管控方案要求。

表 1.5-1 新昌县中心城镇城镇生活重点管控单元生态环境准入清单

管控单元	要求	本项目情况	是否符合	
城镇生活重点管控单元	空间布局约束	(1)禁止新建、扩建三类工业项目，现有三类工业项目改建不得增加污染物排放总量，鼓励现有三类工业迁出或关闭。 (2)禁止新建涉及一类重金属、持久性有机污染物排放等环境健康风险较大的二类工业项目。除工业功能区（小微园区、工业集聚点）外，原则上禁止新建其他二类工业项目。现有二类工业项目改建、扩建，不得增加控制单元污染物排放总量。 (3)严格执行畜禽养殖禁养区规定，城镇建成区内禁止畜禽养殖。 (4)推进城镇绿廊建设，建立城镇生态空间与区域生态空间的有机联系。	本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目	符合
	污染物排放管控	(1)管控单元内工业污染物排放总量不得增加。 (2)污水收集管网范围内，禁止新建除城镇污水处理设施外的入河（或湖或海）排污口，现有的入河（或湖或海）排污口应限期纳管。但相关法律法规和标准规定必须单独设置排污口的除外。 (3)加快污水处理设施建设与提标改造，加快完善城乡污水管网，加强对现有雨污合流管网的分流改造，推进生活小区“零直排”区建设。 (4)加强噪声和臭气异味防治，强化餐饮油烟和机动车尾气治理，严格施工扬尘监管。 (5)加强土壤和地下水污染防治与修复。	本项目为医院核技术利用项目，不涉及工业污染物总量排放。项目建设有放射性废水、放射性废气及放射性固废处理措施，各放射性废物经衰变处理达标后排放，符合污染物排放管控要求。	符合
	环境风险防控	合理布局工业、商业、居住、科教等功能区块，严格控制噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目布局。	本项目不属于噪声、恶臭、油烟等污染排放较大的建设项目；医院按要求编制辐射事故应急预案，建立常态化隐患排查机制。	符合
	资源开发效率要求	全面开展节水型社会建设，推进节水产品推广普及，限制高耗水服务业用水，到2020年，县级以上城市公共供水管网漏损率控制在10%以内。	本项目所用能源主要为城市生活用水和电能，资源利用效率高。	符合

1.6“三线一单”原则符合性分析

根据《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150号），要求强化“三线一单”的约束作用，建立“三挂钩”机制，“三管齐下”切实维护群众的环境权益。“三线一单”即“生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和环境准入负面清单”，项目建设应强化“三线一单”约束作用。

（1）生态保护红线

本项目位于新昌县七星街道磕下村，属于浙江省绍兴市新昌县中心城镇生活重点管控单元（ZH33062420010），不涉及生态保护红线。

（2）环境质量底线

根据环境质量现状监测结果，本项目拟建场所周围环境 X- γ 辐射剂量率属于正常本底范围， β 表面污染小于检测限，未见异常。在落实本报告提出的各项污染防治措施后，不会对周围环境产生不良影响，能维持周边环境质量现状，不会突破当地环境质量底线。

（3）资源利用上线

本项目主要能源为电能，项目电能主要依托市政电力管网，且利用效率高。总体而言，符合资源利用上线的要求。

（4）生态环境准入清单

本项目为医院核技术利用项目，不属于工业项目。结合本项目所在环境管控单元的环境准入清单，本项目满足生态环境准入清单的要求。

综上，项目能够符合“三线一单”的管控要求。

1.7 原有核技术利用项目许可情况

1.7.1 原有核技术利用项目许可情况

医院原有核技术利用活动已取得《辐射安全许可证》，证书编号：浙环辐证[D0058]，许可种类和范围：使用II类、III类射线装置；使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所，有效期至2026年7月20日，见附件4。医院原有核技术利用项目的环评、许可和验收等情况见表1.7-1、1.7-2，原有项目环评批复及环保验收意见见附件6。

表 1.7-1 原有非密封放射性物质

序号	名称	场所等级	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	活动种类	环评情况	许可情况	验收情况
1	I-125	乙级	3.7×10^9	3.33×10^{11}	使用	浙环辐	国环辐证	浙环辐验

表 1.7-2 原有射线装置

序号	装置名称	规型号	类别	活动种类	使用场所	环评情况	验收情况	备注
1	CT	Brilliance	III类	使用	放射科 1 号 CT 机房	绍市环审 [2015]8号	浙环辐 验 [2017]3号	报废
2	DR	DR-VS	III类	使用	放射科 DR2 机房			报废
3	胃肠机	HRF-3	III类	使用	放射科			搬迁
4	乳腺钼靶机	Selenia Dimensions	III类	使用	放射科			搬迁
5	X 线摄影机	VR630	III类	使用	放射科 DR1 机房			搬迁
6	床边 X 线机	Polymobilpus	III类	使用	急诊室			搬迁
7	CT	GE Optima CT 540	III类	使用	放射科 2 号 CT 机房	备案号： 201833062400001 13		搬迁
8	X 线摄影机	KXO-15R	III类	使用	放射科	已报废	/	报废
9	床边 X 线机	AR30	III类	使用	急诊室			报废
10	C 臂机	BvEndura	III类	使用	手术室	备案号： 201833062400001 13		搬迁
11	C 臂机	Compact L	III类	使用	手术室	绍市环审 [2015]8号	浙环辐 验 [2017]3号	报废
12	DSA	FD20	II类	使用	介入中心 2			搬迁
13	DSA	OEC9800	II类	使用	介入中心 1			报废
14	牙科全景机	ORTHPHOS XG	III类	使用	口腔科			搬迁
15	X 线摄影机	VR630	III类	使用	健康管理中心			报废
16	X 线摄影机	HM-32	III类	使用	ICU	备案号： 201833062400001 13		报废
17	牙片机	HELIODENT PLUS D3507	III类	使用	口腔科	备案号： 201833062400001 13		搬迁
18	CT	东芝	III类	使用	放射科 3 号 CT 机房	备案号： 201733062400002 20		搬迁
19	车载 DR	ORICH	III类	使用	移动医疗车	备案号： 201733062400002 20		搬迁

另医院于 2018 年委托编制了《新昌县人民医院扩建 1 台电子直线加速器建设项目环境影响报告表》，拟在现院区综合大楼地下二层建设 1 间加速器机房，并新购 1 台 15MV 直线加速器，绍兴市生态环境局于 2019 年 2 月 27 日对该项目进行了批复，批复文号为绍市环审[2019]4 号。目前该加速器机房仍在建设中，机房建设按原环评 15MV 加速器屏蔽要求进行建设，实际购置 1 台 10MV 加速器，屏蔽满足要求。新院区拟于 2024 年建成投入使用，在新院区投入使用前，该加速器在原院区使用，待新院区建成后再将该加速器搬迁至新院区。

1.7.2 原有射线装置管理情况

(1) 医院已成立了放射防护管理小组，制定了一系列的辐射工作管理制度，其中包括受检者放射危害告知与防护制度、放射工作人员职业健康管理制度、辐射安全管理制度、放射工作场所防护检测制度、放射工作人员培训制度、X 线机使用操作规程、辐射安全防护管理制度、放射安全事件应急预案等制度。

医院原有管理制度内容较为全面，符合相关要求，现有规章制度基本满足医院从事现有相关辐射活动辐射安全和防护管理的要求。医院应严格落实各项规章制度，加强各辐射防护设施运行、维护、检测，加强人员管理和档案管理等。

本项目建成后，可依托医院原有比较健全的管理组织机构。医院目前配置的领导小组人员学历大部分为本科学历，都具有一定的管理能力，本项目开展后，辐射管理成员为同一套班子成员，目前医院的管理人员也能满足配置要求。

本项目放疗科使用直线加速器和后装机进行肿瘤治疗、核医学科新增 SPECT/CT、PET/CT 并使用非密封放射性物质进行显像诊断，为医院新增医疗项目，医院应针对本项目特点对辐射安全管理制度、射线装置使用操作规程、非密封放射性物质使用管理制度、放射安全事件应急预案等现有辐射制度进行补充和完善，使这些制度能够满足本项目要求。

(2) 医院现有辐射工作人员均配备了个人剂量计，每三个月委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。医院现有辐射工作人员个人剂量监测报告见附件 8，由监测报告结果可以看出：现有辐射工作人员年度的个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值。

(3) 医院现有 70 名辐射工作人员，人员均持有辐射安全与防护考核合格成绩单或放射诊疗培训合格成绩单，均在有效期内。

医院应严格执行辐射工作人员培训制度，根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号）和《关于进一步优化辐射安全考核公告》（生态环境部公告第 2021 年第 9 号），医院应及时组织从事使用 II 类射线装置、III 类放射源、乙级非密封放射性工作场所的辐射工作人员在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格，并按时接受再培训。从事 III 类射线装置的辐射工作人员应参加医院自行组织的辐射安全与防护考核，并取得合格成绩，并建立成绩档案。

(4) 医院现有辐射工作人员建有职业健康档案，辐射工作人员岗前、在岗期间和离岗前均进行职业健康体检，在岗期间体检周期不超过 2 年。根据医院提供的职业健康体检报告，在岗辐射工作人员均可继续从事放射岗位工作。

(5) 医院原有辐射工作场所设置有电离辐射警示牌、报警装置和工作状态指示灯等。

(6) 医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

(7) 辐射应急演练和年度评估

医院已制定《放射安全事件应急预案》，医院有定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结。经医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院已编制《辐射安全与防护状况年度评估报告》，对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度(Bq)/ 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	¹⁹² Ir	3.70×10 ¹¹ Bq/3.70×10 ¹¹ Bq×1 枚	III	使用	肿瘤治疗	医疗综合楼 负二层放疗科	贮存方式为铅罐 贮存,贮存在后装 机机头内	新增

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大 操作量 (Bq)	日等效最大 操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作 方式	使用场所	贮存方式与地点	备注
1	^{99m} Tc	液态/低毒 半衰期 6.02h	使用	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁷	4.63×10 ¹²	SPECT/CT 显 像检查	很简单 操作	医疗综合楼 负二层核医 学科	根据实际使用量 向有资质单位购 买（现买现用）， 购买后的放射性 药物连同铅罐包 装放置于核医学 科源库，源库设双 人双锁管理和视 频监控。	新增 核素
2	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	使用	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁶	3.70×10 ¹²	PET/CT 显像 检查	很简单 操作			
3	¹⁸ F	液态/低毒 半衰期 109.8min	使用	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁶		备药	源的 贮存			
4	¹³¹ I	液态/中毒 半衰期 8.02d	使用	1.85×10 ⁶	1.85×10 ⁵	4.63×10 ⁸	甲测	简单 操作			
5	¹³¹ I	液态/中毒 半衰期 8.02d	使用	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁸	4.63×10 ¹¹	甲亢治疗	简单 操作			

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速 粒子	最大能量	额定电流/ /剂量率	用途	工作场所	备注
1	医用直线加速器	II类	1	待定	电子	X射线：10MV 电子线：15MeV	10MV 时距靶 1m 处的主束辐射剂 量率为 $3.6 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$ 6MV 时距靶 1m 处的主束辐射剂量 率为 $8.4 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$	肿瘤治疗	医疗综合楼 负二层放疗 科	搬迁

注：本项目不包括加速器和后装机配套的模拟定位机，待医院模拟定位机设备确定型号和参数后由医院另行履行备案手续。

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流(mA)	用途	工作场所	备注
1	SPECT/CT	III类	1	待定	140	800	显像诊断	医疗综合楼负二层核医学科	新购
2	PET/CT	III类	1	待定	140	800	显像诊断	医疗综合楼负二层核医学科	新购
3	DSA	II类	1	待定	125	1250	影像诊断和介入 治疗	医疗综合楼四层北区	新购
4	DSA	II类	1	Allura Xper FD20	125	1250	影像诊断和介入 治疗	医疗综合楼四层北区	搬迁
5	DSA	II类	1	待定	125	1250	影像诊断和介入 治疗	医疗综合楼四层北区	搬迁
6	ERCP	II类	1	待定	125	900	介入治疗	医疗综合楼三层北区	新购
7	胃肠机	III类	1	HRF-3	150	1000	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
8	乳腺钼靶机	III类	1	Selenia Dimensions	49	200	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
9	X线摄影机	III类	1	VR630	150	630	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
10	床边X线机	III类	1	Polymobilpus	125	200	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
11	CT	III类	1	GE Optima CT 540	140	440	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
12	C臂机	III类	1	BvEndura	110	250	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁

13	牙科全景机	Ⅲ类	1	ORTHPHOS XG	90	16	影像诊断	医疗综合楼三层北区口腔科	搬迁
14	牙片机	Ⅲ类	1	HELIODENT PLUS D3507	70	7	影像诊断	医疗综合楼三层北区口腔科	搬迁
15	CT	Ⅲ类	1	东芝	150	1000	影像诊断	医疗综合楼一层北区放射科	搬迁
16	车载DR	Ⅲ类	1	ORICH	150	630	影像诊断	医院内移动使用	搬迁

(三) 中子发生器, 包括中子管, 但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物 (重点是放射性废弃物)

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水 (核医学)	液态	¹⁸ F	/	/	125m ³	β≤10Bq/L	暂存于三个并联衰变池中, 每个衰变池有效容积 32.5m ³ , 总有效容积为 97.5m ³	衰变后的放射性废水低于 GB18871-2002 中规定的放射性废水排放导出限值和 GB18466-2005 规定的总β限值后送至院内污水处理站进一步处理。
		^{99m} Tc						
		¹³¹ I						
放射性固废 (核医学)	固态	¹⁸ F	/	/	500kg	<1×10 ¹ Bq/g	分装注射室、SPECT/CT 候检室、PET 候检室、VIP 候检室、留观室、服碘室、甲测室各设 1 个脚踏式铅桶, 污物间设置 1 个衰变箱	分类收集, 含 ¹⁸ F、 ^{99m} Tc 放射性废物衰变 30 天; 含 ¹³¹ I 废物衰变 180 天, 作为医疗废物委托有资质单位处置。
		^{99m} Tc	/	/		<1×10 ¹ Bq/g		
		¹³¹ I	/	/	125kg	<1×10 ² Bq/g		
		废活性炭 (¹³¹ I)	/	/	300kg	<1×10 ² Bq/g		
放射性废气 (核医学)	气态	¹³¹ I	/	/	/	0.77Bq/m ³	核医学设 5 支排风管线, 废气通过 2 支总管线由排风井排至医疗综合楼主楼楼顶排放, 排风口高出屋脊, 各风机出风口端设活性炭吸附装置。	

废源	固态	¹⁹² Ir	1.3×10 ¹¹ Bq	/	/	/	不暂存，由供源单位回收
废靶	固态	/	/	/	/	/	经监测其表面γ辐射剂量水平后满足清洁解控水平由设备厂家回收

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m³；年排放总量用 kg。

2. 含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规 文件	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第 9 号，2014 年），自 2015 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第 48 号 2016 年修订，2016 年 9 月 1 日起施行）及《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年），自 2003 年 10 月 1 日起实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年），自 2017 年 10 月 1 日起施行；</p> <p>(5) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(6) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院令第 709 号修订，2019 年 3 月 2 日起施行；</p> <p>(7) 《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年），自 2012 年 3 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布<放射性废物分类>的公告》（环境保护部 工业和信息化部 国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，2017 年），2018 年 1 月 1 日起施行；</p> <p>(9) 《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号），2011 年 5 月 1 日起施行；</p> <p>(11) 《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》，2021 年修订版，2021 年 1 月 4 日公布并施行；</p> <p>(12) 《关于发布《射线装置分类》的公告》（环境保护部 国家卫生计生委公告 2017 年第 66 号，2017 年），自 2017 年 12 月 5 日起施行；</p> <p>(13) 《关于发布放射源分类办法的公告》（国家环境保护总局公告 2005 年第 62 号），2005 年 12 月 23 日；</p>
----------	--

	<p>(14) 《关于开展医疗机构辐射安全许可和放射诊疗许可办事流程优化工作的通知》（浙江省生态环境厅 浙江省卫生健康委员会，浙环函[2019]248号）。</p> <p>(15) 《浙江省建设项目环境保护管理办法》（2011年10月25日浙江省人民政府令第288号公布，根据2014年3月13日浙江省人民政府令第321号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省林地管理办法〉等9件规章的决定》第一次修正，根据2018年1月22日浙江省人民政府令第364号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省建设项目环境保护管理办法〉的决定》第二次修正，根据2021年2月10日浙江省人民政府令第388号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等9件规章的决定》第三次修正）；</p> <p>(16) 《浙江省辐射环境管理办法》（2011年12月18日浙江省人民政府令第289号公布，根据2021年2月10日浙江省人民政府令第388号公布的《浙江省人民政府关于修改〈浙江省价格监测预警办法〉等9件规章的决定》修正）；</p> <p>(17) 浙江省生态环境厅关于发布《省生态环境主管部门负责审批环境影响评价文件的建设项目清单（2019年本）》的通知（浙环发[2019]22号）。</p>
<p>技术标准</p>	<p>(1) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(2) 《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）；</p> <p>(3) 《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）；</p> <p>(4) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(5) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第1部分：一般原则》（GBZ/T201.1-2007）；</p> <p>(6) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第2部分：电子直线加速器放射治疗机》（GBZ/T201.2-2011）；</p> <p>(7) 《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第3部分：γ射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）；</p> <p>(8) 《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）；</p> <p>(9) 《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）；</p> <p>(10) 《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）；</p> <p>(11) 《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）；</p>

	<p>(12) 《操作非密封源的辐射防护规定》(GB11930-2010)；</p> <p>(13) 《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)；</p> <p>(14) 《医院污水处理技术指南》(环发[2003]197)。</p>
其他	<p>(1) 《辐射防护手册》(第一分册)，李德平、潘自强主编；</p> <p>(2) 《辐射防护手册》(第三分册)，李德平、潘自强主编；</p> <p>(3) 《简明放射性同位素应用手册》，卢玉楷主编；</p> <p>(4) 《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫；</p> <p>(5) 医院提供的其它与本项目有关的技术资料。</p>

表 7 保护目标与评价标准

7.1评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）规定及本项目的实际情况，确定本项目辐射环境评价范围为乙级非密封放射物质工作场所边界、后装机房、各射线装置机房及衰变池边界外50m区域。

7.2保护目标

根据现场踏勘情况，本项目辐射工作场所边界外50m范围内主要为医院内部建筑及道路，无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点，仅衰变池北侧50m范围内涉及新昌技师学院建筑物，评价范围示意图详见附图2。本次评价范围内的主要环境保护目标为本项目职业人员、医院非辐射工作人员及公众人员。

表7.2-1 项目环境保护目标一览表

工作场所	环境保护目标	方位	与场所边界的最近距离 (m)		规模	受照类型	人员类别
			水平	垂直			
核医学科场所	分装注射室	/	内部	0	4 人	γ射线、β射线	职业
	办公室、控制室	南侧	0	0	10 人	γ射线 X射线	职业
	候诊区	东侧	0	0	约 150 人次/天	γ射线	公众
	放疗科	东侧	18	0	约 100 次/天	γ射线	公众
	档案室	南侧	18	0	约 10 人	γ射线	公众
	负二层车库	西侧	0	0	约 200 人次/天	γ射线	公众
	楼上药库	楼上	0	0	约 10 人	γ射线	公众
	地面停车场	楼上	0	9	约 100 人次/天	γ射线	公众
	外部道路	北侧	15	9	约 500 人次/天	γ射线	公众
	新昌技师学院	北侧	45	0	约 50 人	γ射线	公众
医疗综合楼	四周	10~50	0	约 500 人次/天	γ射线	公众	
放疗科机房	控制室辐射工作人员	南侧	0	0	约 10 人	X射线	职业
	负二层车库	东侧	0	0	150 人次/天	X射线	公众
	冷冻机房	南侧	14	0	约 5 人	X射线	
	楼梯间	西侧	0	0	约 100 人次/天	X射线	公众
	楼上设备房	北侧	0	0	约 5 人	X射线	公众
	医院内停车场	楼上	0	9	约 100 人次/天	X射线	公众
	外部道路	西侧	15	9	约 500 人次/天	X射线	公众
医疗综合楼其他	四周	0~50	9	约 500 人次/天	X射线	公众	
DSA 机	控制室辐射	/	0	0	6 人	X射线	职业

房	工作人员						
	机房内辐射工作人员	内部	0	0	30 人	X 射线	职业
	污物走廊	东侧、南测、西侧	0	0	约 20 人次/天	X 射线	公众
	洁净走廊	北侧	0	0	约 20 人次/天	X 射线	公众
	楼上病房	楼上	0	0	约 10 人	X 射线	公众
	楼下档案室	楼下	0	0	约 5 人	X 射线	公众
	地面停车场	东侧	10	15	约 150 人次/天	X 射线	公众
	医疗综合楼	四周	0~50	0	500 人次/天	X 射线	公众
ERCP 机房	控制室工作人员	西侧	0	0	1 人	X 射线	职业
	机房内工作人员	/	0	0	4 人	X 射线	职业
	处置室	东侧	0	0	约 2 人	X 射线	公众
	内镜检查室	南测	0	0	约 50 人次/天	X 射线	公众
	走廊公众	北侧	0	0	约 20 人次/天	X 射线	公众
	楼上手术恢复室	楼上	0	0	约 10 人	X 射线	公众
	楼下 B 超室	楼下	0	0	约 5 人	X 射线	公众
医疗综合楼	四周	0~50	0	约 100 人次/天	X 射线	公众	
放射科机房	候诊大厅	东侧	0	0	约 200 人次/天	X 射线	公众
	患者走廊	南侧	0	0	约 100 人次/天	X 射线	公众
	会议室、其他机房	西侧	0	0	约 100 人次/天	X 射线	公众
	患者走廊	北侧	0	0	约 100 人次/天	X 射线	公众
	控制廊工作人员	北侧/南侧	0	0	14 人	X 射线	公众
	超声中心	楼上	0	0	500 人次/天	X 射线	公众
	食堂	楼下	0	0	1000 人次/天	X 射线	公众
医疗综合楼	四周	3~50	0	1000 人次/天	X 射线	公众	
口腔科机房	控制室工作人员	东侧	0	0	5 人	X 射线	职业
	走廊	南侧、西侧	0	0	100 人次/天	X 射线	公众
	牙科诊室	北侧	0	0	50 人次/天	X 射线	公众
	输血科	楼上	0	0	10 人	X 射线	公众
	妇产科清洁用房	楼下	0	0	5 人	X 射线	公众
医疗综合楼	四周	3~50	0	1000 人次/天	X 射线	公众	
C 臂机房	洁净走廊 污物走廊	东、西、北侧	0	0	100 人次/天	X 射线	公众
	其他手术室	南侧	0	0	15 人	X 射线	公众
	手术库房	楼上	0	0	2 人	X 射线	公众
	病理科去污区	楼下	0	0	5 人	X 射线	公众

	医疗综合楼	四周	3~50	0	1000 人次/天	X 射线	公众
	辐射工作人员	东侧	0	0	5 人	X 射线	公众

7.3 评价标准

一、《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）

（1）豁免和解控

4.2.4 豁免

4.2.4.1 如果源符合下列条件之一，并经审管部门确认和同意，则该源或利用该源的实践可以被本标准的要求所豁免：

a) 符合本标准附录 A（标准的附录）中所规定的豁免要求；

b) 符合审管部门根据本标准附录 A（标准的附录）规定的豁免准则所确定的豁免水平。

4.2.4.2 对于尚未被证明为正当的实践不应予以豁免。

4.2.5 解控

4.2.5.1 已知或已获准实践中的源（包括物质、材料和物品），如果符合审管部门规定的清洁解控水平，则经审管部门认可，可以不在遵循本标准的要求，即可以将其解控。

4.2.5.2 除非审管部门另有规定，否则清洁解控水平的确定应考虑本标准附录 A（标准的附录）所规定的豁免准则，并且所定出的清洁解控水平不应高于本标准附录 A（标准的附录）中规定的或审管部门根据该附录规定的准则所建立的豁免水平。

表 A1 放射性核素的豁免活度浓度与豁免活度（摘自附录 A 中表 A1）

核素	活度浓度/（Bq/g）	活度/Bq
^{99m} Tc	1E+01	1E+07
¹⁸ F	1E+01	1E+06
¹³¹ I	1E+02	1E+06

（2）剂量限值

①职业照射

4.3.2.1 应对个人受到的正常照射加以限制，以保证本标准 6.2.2 规定的特殊情况外，由来自各项获准实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量

不超过附录 B（标准的附录 B）中规定的相应剂量限值。不应将剂量限值应用于获准实践中的医疗照射。

B1.1.1.1 应对任何工作人员的照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

- a) 由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；
- b) 任何一年中的有效剂量，50mSv；
- c) 眼晶体的年当量剂量，150mSv；
- d) 四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

②公众照射

B1.2.1 实践使公众中有关关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

- a) 年有效剂量，1mSv；

对于职业人员，取年有效剂量限值的四分之一，即不超过 5mSv 作为年剂量约束值，手部取四肢年当量剂量限值的四分之一，即不超过 125mSv 作为手部剂量约束值；对于职业人员眼晶体，取 20mSv 作为眼晶体剂量约束值。

对于公众，本项目取年有效剂量限值 1mSv 的十分之一，即不超过 0.1mSv 作为年剂量约束值。

（3）分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求，应把辐射工作场所分为控制区和监督区，以便于辐射防护管理和职业照射控制。

6.4.1 控制区

6.4.1.1 注册者和许可证持有者应把需要和可能需要专门防护手段或安全措施的区域定为控制区，以便控制正常工作条件下的正常照射或防止污染扩散，并预防潜在照射或限制潜在照射的范围。

6.4.2 监督区

6.4.2.1 注册者和许可证持有者应将下述区域定为监督区：这种区域未被定为控制区，在其中通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价。

（4）表面放射性污染的控制

工作人员体表、内衣、工作服、以及工作场所的设备和地面等表面放射性污染的控制应遵循附录 B（标准的附录 B）B2 所规定的限制要求。

B2 表面污染控制水平

工作场所的表面污染控制水平如表 B11 所列。

表 B11 工作场所的放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		β放射性物质
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 ¹⁾	4×10 ¹
	监督区	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外		

(5) 非密封源工作场所的分级

C1 非密封源工作场所分级

应按表 C1 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 C1 非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	>4×10 ⁹
乙	2×10 ⁷ ~4×10 ⁹
丙	豁免活度值以上~2×10 ⁷

(6) 放射性物质向环境排放的控制

8.6.2 不得将放射性废液排入普通下水道,除非经审管部门确认是满足下列条件的低放废液,方可直接排入流量大于 10 倍排放流量的普通下水道,并应对每次排放作好记录:

a)每月排放的总活度不超过 10ALImin(ALImin 是相应于职业照射的食入和吸入 ALI 值中的较小者,其具体数值可按 B1.3.4 和 B1.3.5 条的规定获得);

b)每一次排放的活度不超过 1ALImin,并且每次排放后用不少于 3 倍排放量的水进行冲洗。

二、《核医学辐射防护与安全要求》(HJ 1188-2021)

4.2 辐射工作场所分级

应按照 GB 18871 的规定,将辐射工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分为甲级、乙级和丙级。核医学常用放射性核素的毒性与操作方式修正因子可参考附录 A。

4.3 辐射工作场所分区

4.3.1 应按照 GB 18871 的要求将核医学工作场所划分出控制区和监督区, 并进行相应的管理。

4.3.2 核医学工作场所的控制区主要包括回旋加速器机房、放射性药物合成和分装室、放射性药物贮存室、给药室、给药后候诊室、扫描室、核素治疗病房、给药后患者的专用卫生间、放射性废物暂存库、衰变池等区域。

4.3.3 核医学工作场所的监督区主要包括回旋加速器和显像设备控制室、卫生通过间以及与控制区相连的其他场所或区域。

4.3.4 控制区的入口应设置规范的电离辐射警告标志及标明控制区的标志, 监督区入口处应设置标明监督区的标志。

4.3 剂量限值与剂量约束值

4.4.1 剂量限制

核医学工作人员职业照射剂量限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.1 的相关规定, 核医学实践使公众成员所受到的剂量照射限值应符合 GB 18871 附录 B 中 B1.2 的相关规定。

4.4.2 剂量约束值

4.4.2.1 一般情况下, 职业照射的剂量约束值不超过 5mSv/a;

4.4.2.2 公众照射的剂量约束值不超过 0.1mSv/a。

4.4.3 放射性表面污染控制水平

核医学工作场所的放射性表面污染控制水平按照 GB 18871 执行。

5 选址和布局

5.1 选址

5.1.1 核医学工作场所宜建在医疗机构内单独的建筑物内, 或集中于无人长期居留的建筑物的一端或底层, 设置相应的物理隔离和单独的人员、物流通道。

5.1.2 核医学工作场所不宜毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区, 应与非放射性工作场所有明确的分界隔离。

5.1.3 核医学工作场所排风口的位置尽可能远离周边高层建筑。

5.2 布局

5.2.1 核医学工作场所应合理布局, 住院治疗场所和门诊诊断场所应相对分开布置;

同一工作场所内应根据诊疗流程合理设计各功能区域的布局，控制区应相对集中，高活室集中在一端，防止交叉污染。尽量减小放射性药物、放射性废物的存放范围，限制给药后患者的活动空间。

5.2.2 核医学工作场所应设立相对独立的工作人员、患者、放射性药物和放射性废物路径。工作人员通道和患者通道分开，减少给药后患者对其他人员的照射。注射放射性药物后患者与注射放射性药物前患者不交叉，人员与放射性药物通道不交叉，放射性药物和放射性废物运送通道应尽可能短捷。

5.2.3 核医学工作场所宜采取合适的措施，控制无关人员随意进入控制区和给药后患者的随意流动，避免工作人员和公众受到不必要的照射。控制区的出入口应设立卫生缓冲区，为工作人员和患者提供必要的可更换衣物、防护用品、冲洗设施和表面污染监测设备。控制区内应设有给药后患者的专用卫生间。

6.3 密闭和通风要求

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

7.2.3 固体放射性废物处理

7.2.3.1 固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， α 表面污染小于 $0.08\text{Bq}/\text{cm}^2$ 、 β 表面污染小于 $0.8\text{Bq}/\text{cm}^2$ 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过 30 天；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的 10 倍；
- c) 含碘-131 核素的放射性固体废物暂存超过 180 天。

7.3.3 放射性废液排放

7.3.3.1 对于槽式衰变池贮存方式：

- a) 所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；
- b) 所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2

规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

三、《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）

7.1.2 应从源头控制，减少放射性废物的产生，防止污染扩散。

7.1.3 应分类收储废物，采取有效方法尽可能进行减容或再利用，努力实现废物最小化。

7.1.4 应做好废物产生、处理、处置（包括排放）的记录，建档保存。

7.2.1 不得将放射性废液排入普通下水道；不允许利用生活污水系统洗涤被放射性污染的物品。

7.2.2 废液应妥善地收集在密闭的容器内。盛装废液的容器，除了其材质应不易吸附放射性物质外，还应采取适当措施保证在容器万一破损时其中的废液仍能收集处理。遇有强外照射时，废液收集地点应有外照射防护措施。

7.2.3 经过处理的废液在向环境排放前，应先送往监测槽逐槽分析，符合排放标准后方可排放。

7.2.4 使用少量或短寿命放射性核素的单位，可设立采取衰变方法进行放射性废液处理处置系统，该系统应有足够的防渗漏能力。

7.3.3 对于半衰期短的废物可用放置衰变的办法，待放射性物质衰变到清洁解控水平后作普通废物处理，以尽可能减少放射性废物的数量。

四、《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）

该标准适用于医疗机构污水排放的控制，医疗机构建设项目的环境影响评价、环境保护设施设计、竣工验收及验收后的排放管理。

4.1.2 县级及县级以上或 20 张床位及以上的综合医疗机构和其他医疗机构污水排放执行表 2 的规定。直接或间接排入地表水体和海域的污水执行排放标准，排入终端已建有正常运行城镇污水处理厂的下水道的污水，执行预处理标准。

5.4 医疗机构的各种特殊排水应单独收集并进行处理后，再排入医院污水处理站。

5.4.1 低放射性废水应经衰变池处理

表 2 综合医疗机构和其他医疗机构水污染物排放标准（日均值）

序号	控制项目	排放标准	预处理标准
23	总 α (Bq/L)	1	1
24	总 β (Bq/L)	10	10

6.1 污水取样与及监测

6.1.1 应按规定设置科室处理设施排出口和单位污水外排口，并设置排放口标志。

6.1.2 总 α 、总 β 在衰变池出口取样监测。

五、《医院污水处理技术指南》（环发[2003]197号）

7.1 放射性废水来源

放射性废水主要来自诊断、治疗过程中患者服用或注射放射性同位素后所产生的排泄物，分装同位素的容器、杯皿和实验室的清洗水，标记化合物等排放的放射性废水。

7.2 放射性废水的水质水量和排放标准

7.2.1 放射性废水浓度范围为 $3.7 \times 10^2 \text{Bq/L} \sim 3.7 \times 10^5 \text{Bq/L}$ 。

7.2.2 废水量为 100~200L/床.d。

7.2.3 医院放射性废水排放执行新制定的《医疗机构污染物排放标准》规定：在放射性污水处理设施排放口监测其总 $\alpha < 1 \text{Bq/L}$ ，总 $\beta < 10 \text{Bq/L}$ 。

7.3 放射性废水系统及衰变池设计

7.3.1 放射性废水应设置单独的收集系统，含放射性的生活污水和试验冲洗废水应分开收集，收集放射性废水的管道应采用耐腐蚀的特种管道，一般为不锈钢管道或塑料管。

7.3.2 放射性试验冲洗废水可直接排入衰变池，粪便生活污水应经过化粪池或污水处理池净化后再排入衰变池。

7.3.3 衰变池根据床位和水量设计或选用。

7.3.4 衰变池按使用的同位素种类和强度设计，衰变池可采用间歇式或连续式。

7.3.5 间歇式衰变池采用多格式间歇排放；连续式衰变池，池内设导流墙，推流式排放。衰变池的容积按最长半衰期同位素的 10 个半衰期计算，或按同位素的衰变公式计算。

7.3.6 衰变池应防渗防腐。

7.4 监测和管理

7.4.1 间歇衰变池在排放前监测；连续式衰变池每月监测一次。

7.4.2 收集处理放射性污水的化粪池或处理池每半年清掏一次，清掏前应监测其放射性达标方可处置。

六、《放射治疗辐射安全与防护要求》（GBZ121-2020）

5.1 选址与布局

5.1.1 放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、

写字楼和商住两用的建筑物内。

5.1.2 放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避开儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。

5.1.3 术中放射治疗手术室应采取适当的辐射防护措施，并尽量设在医院手术区的最内侧，与相关工作用房（如控制室或专用于术中放射治疗设备调试、维修的房间）形成一个相对独立区域；术中控制台应与治疗设备分离，实行隔室操作，控制台可设在控制室或走廊内。

5.2 分区原则

5.2.1 放射治疗场所应划分控制区和监督区。一般情况下，控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所，如质子/重离子加速器大厅、束流输运通道和治疗室，直线加速器机房、含源装置的治疗室、放射性废物暂存区域等。开展术中放射治疗时，术中放射治疗室应确定为临时控制区。

5.2.2 与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行

监督和评价的区域划定为监督区（如直线加速器治疗室相邻的控制室及与机房相邻区域等）。

6 放射治疗场所辐射安全与防护要求

6.1 屏蔽要求

6.1.1 放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野等条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射。

6.1.2 放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。使用中子源放射治疗设备、质子/重离子加速器或大于 10 MV 的 X 射线放射治疗设备，须考虑中子屏蔽。

6.1.3 管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。

6.1.4 剂量控制应符合以下要求：

a) 治疗室墙和入口门外表面 30cm 处、邻近治疗室的关注点、治疗室房顶外的地面附近和楼层及在治疗室上方已建、拟建二层建筑物或在治疗室旁邻近建筑物的高度超过

自辐射源点治疗室房顶内表面边缘所张立体角区域时,距治疗室顶外表面 30 cm 处和在该立体角区域内的高层建筑人员驻留处的周围剂量当量率应同时满足下列 1) 和 2) 所确定的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c :

1) 使用放射治疗周工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子(可依照附录 A 选取),由以下周剂量参考控制水平(\dot{H}_c)求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

机房外辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

机房外非辐射工作人员: $\dot{H}_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

2) 按照关注点人员居留因子的不同,分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

人员居留因子 $T > 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;

人员居留因子 $T \leq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$ 。

b) 穿出机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射,以年剂量 $250\mu\text{Sv}$ 加以控制。

c) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶,机房顶外表面 30 cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100\mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应位置处设置辐射告示牌)。

6.2 安全防护设施和措施要求

6.2.1 放射治疗工作场所,应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等:

a) 放射治疗工作场所的入口处应设置电离辐射警告标志,贮源容器外表面应设置电离辐射标志和中文警示说明;

b) 放射治疗工作场所控制区进出口及其他适当位置应设电离辐射警告标志和工作状态指示灯;

c) 控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和迷道区域情况的视频装置,并设置双向交流对讲系统。

6.2.2 质子/重离子加速器大厅和治疗室内、含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室(一般在迷道的内入口处)应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能,其显示单元设置在控制室内或机房门附近。

6.2.3 放射治疗相关的辐射工作场所,应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁措施:

a) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置门一机/源联锁装置, 防护门未完全关闭时不能出束/出源照射, 出束/出源状态下开门停止出束或放射源回到治疗设备的安全位置。含放射源的治疗设备应设有断电自动回源措施;

b) 放射治疗室和质子/重离子加速器大厅应设置室内紧急开门装置, 防护门应设置防夹伤功能;

c) 应在放射治疗设备的控制室/台、治疗室迷道出入口及防护门内侧、治疗室四周墙壁、质子/重离子加速器大厅和束流输运通道内设置急停按钮; 急停按钮应有醒目标识及文字显示能让在上述区域内的人员从各个方向均能观察到且便于触发;

d) 质子/重离子治疗装置安全联锁系统还应包括清场巡检系统、门钥匙开关(身份识别系统)。质子/重离子治疗室、加速器大厅和束流输运通道应建立分区清场巡检和束流控制的逻辑关系, 清场巡检系统应考虑清场巡检的最长响应时间和分区调试情况的联锁设置。日常清场巡检时, 如超出设定的清场巡检响应时间, 需重新进行清场巡检;

e) 质子/重离子治疗装置应考虑建立调试、检修、运行维护人员的人身安全联锁系统, 将调试、检修、运行维护人员的受照剂量与进入控制区的权限实施联锁管控;

f) 安全联锁系统一旦被触发后, 须人工就地复位并通过控制台才能重新启动放射治疗活动; 安装调试及维修情况下, 任何联锁旁路应通过单位辐射安全管理机构的批准与见证, 工作完成后应及时进行联锁恢复及功能测试。

6.2.4 后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

七、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分: 电子直线加速器放射治疗机房》(GBZ/T 201.2—2011);

4.2 剂量控制要求

4.2.1 治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平

a) 使用放射治疗年工作负荷、关注点位置的使用因子和居留因子, 依照附录 A, 由周剂量参考控制水平 (H_c) 求得关注点的导出剂量率参考控制水平 $H_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

1) 放射治疗机房外控制区的工作人员: $H_c \leq 100 \mu\text{Sv/周}$;

2) 放射治疗机房外非控制区的人员: $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 。

b) 按照关注点人员居留因子的下列不同, 分别确定关注点的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$):

1) 人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$

2) 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv/h}$

c) 由上述 a) 中的导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 和 b) 中的最高剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,max}$, 选择其中较小者作为关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$)。

4.2.2 治疗机房顶的剂量控制要求

治疗机房顶的剂量应按下述 a)、b) 两种情况控制:

a) 在治疗机房正上方已建、拟建建筑物或治疗机房旁邻近建筑物的高度超过自辐射源点到机房顶内表面边缘所张立体角区域时, 距治疗机房顶外表面 30cm 处和 (或) 在该立体角区域内的高层建筑物中人员驻留处, 可以根据机房外周剂量参考控制水平 $H_c \leq 5 \mu\text{Sv/周}$ 和最高剂量率 $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 按照 4.2.1 求得关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 加以控制。

A.2.2 复合辐射

与主屏蔽直接相连的次屏蔽区(见 4.3.2), 需要考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射:

a) 以 4.2.1b)、4.2.2a) 或 4.2.2b) 中的 $H_{c,max}$ 的一半, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.2 估算屏蔽患者散射辐射所需要的屏蔽厚度;

b) 将 A. 2.1b) 的(A.3)式中的 H_0 以 $0.5H_0$ 代替, 作为关注点的导出剂量率参考控制水平, 依 5.2.1 估算屏蔽泄漏辐射所需要的屏蔽厚度;

c) 取上述 a) 和 b) 中屏蔽厚度较厚者为该关注点的屏蔽设计。相应屏蔽下, 泄漏辐射和有用线束患者散射辐射在关注点的剂量率之和为该处的剂量率控制值。

b) 除 4.2.2 中 a) 的条件外, 应考虑下列情况:

1) 天空散射和侧散射辐射对治疗机房外的地面附近和楼层中公众的照射。该项辐射和穿出机房墙透射辐射在相应处的剂量(率)的总和, 应按 4.2.2 中的 a) 确定关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 加以控制;

2) 穿出治疗机房顶的辐射对偶然到达机房顶外的人员的照射, 以相当于机房外非控制区人员周剂量率控制指标的年剂量 $250 \mu\text{Sv}$ 加以控制;

3) 对不需要人员到达并只有借助工具才能进入的机房顶, 考虑上述 1) 和 2) 之后, 机房顶外表面 30cm 处的剂量率参考控制水平可按 $100 \mu\text{Sv/h}$ 加以控制(可在相应处设置辐射告示牌)。

八、《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分: γ 射线源放射治疗机房》(GBZ/T

201.3--2014)

4.1 剂量控制要求

该部分内容与 GBZ/T 201.2—2011 中 4.2 节基本相同，故不再叙述。

九、《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）

6 X 射线设备机房防护设施的技术要求

6.1 X 射线设备机房布局

6.1.1 应合理设置 X 射线设备、机房的门、窗和管线口位置，应尽量避免有用线束直接照射门、窗、管线口和工作人员操作位。

6.1.2 X 射线设备机房（照射室）的设置应充分考虑邻室（含楼上和楼下）及周围场所人员防护与安全。

6.1.3 每台固定使用的 X 射线设备应设有单独的机房，机房应满足使用设备的布局要求；每台牙椅独立设置诊室的，诊室内可设置固定的口内牙片机，供该设备使用，诊室的屏蔽核布局应满足口内牙片机房防护要求。

6.1.4 移动式 X 射线机（不含床旁摄影机和急救车配备设备）在使用时，机房应满足相应布局要求。

6.1.5 除床旁摄影设备、便携式 X 射线设备和车载式诊断 X 射线设备外，对新建、改建和扩建项目和技术改造、技术引进项目的 X 射线设备机房，其最小有效使用面积、最小单边长度应符合表 2 的规定。

6.2 X 射线设备机房屏蔽

6.2.1 不同类型 X 射线设备(不含床旁摄影设备和便携式 x 射线设备)机房的屏蔽防护应不低于表 3 的规定。

6.3 X 射线设备机房屏蔽体外剂量水平

6.3.1 机房的辐射屏蔽防护，应满足下列要求：

a) 具有透视功能的 X 射线设备在透视条件下检测时，周围剂量当量率应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；测量时，X 射线设备连续出束时间应大于仪器响应时间；

b) CT 机、乳腺摄影、乳腺 CBCT、口内牙片摄影、牙科全景摄影、牙科全景头颅摄影、口腔 CBCT 和全身骨密度仪机房外的周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 $\mu\text{Sv/h}$ ；

6.5 X 射线设备工作场所防护用品及防护设施配置要求

6.5.1 每台 X 射线设备根据工作内容，现场应配备不少于表 4 基本种类要求的工作

人员、受检者防护用品与辅助防护设施，其数量应满足开展工作需要，对陪检者应至少配备铅橡胶防护衣。

6.5.3 除介入防护手套外，防护用品和辅助防护设施的铅当量应不小于 0.25mmPb；介入防护手套铅当量应不小于 0.025mmPb；甲状腺、性腺防护用品铅当量应不小于 0.5mmPb；移动铅防护屏风铅当量应不小于 2mmPb。

表 2 X 射线设备机房（照射室）使用面积、单边长度的要求

设备类型	机房内最小有效使用面积 m ²	机房内最小单边长度 m
CT 机（不含头颅移动 CT）	30	4.5
单管头 X 射线机 ^b	20	3.5
透视专用机 ^c 、碎石定位机、 口腔 CBCT 卧位扫描	15	3.0
乳腺机、全身骨密度仪	10	2.5
牙科全景机、局部骨密度仪、 口腔 CBCT 坐位扫描/站位扫 描	5	2.0
口内牙片机	3	1.5

^b 单管头、双管头或多管头 X 射线设备的每个管球各安装在 1 个房间内。
^c 透视专用机指无诊断床、标称管电流小于 5mA 的 X 射线设备。

表 3 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mmPb	非有用线束方向铅当量 mmPb
标称 125kV 以上的摄影机房	3.0	2.0
标称 125kV 及以下的摄影机房	2.0	1.0
C 形臂 X 射线设备机房	2.0	2.0
口腔 CBCT、牙科全景机房（有头颅摄影）	2.0	1.0
透视机房口内牙片机、牙科全景机房（无 头颅摄影）	1.0	1.0
CT 机房	2.5	

表 4 个人防护用品好辅助防护设施配置要求

放射检查类型	工作人员		患者和受检	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
放射诊断学用 X 射线设备隔室透视、摄影	——	——	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套 选配：铅橡胶帽子	可调节防护窗口的立位防护屏； 选配：固定特殊受检者体位的各种设备
放射诊断学用 X 射线设备同室透视、摄影	铅橡胶围裙 选配：铅橡胶帽子、铅橡胶颈套、	移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套	可调节防护窗口的立位防护屏；

	铅橡胶手套、铅防护眼镜		选配:铅橡胶帽子	选配:固定特殊受检者体位的各种设备
口内牙片摄影	——	——	大领铅橡胶颈套	——
牙科全景体层摄影,口腔CBCT	——	——	大领铅橡胶颈套 选配:铅橡胶帽子	——
介入放射学操作	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅防护眼镜、介入防护手套 选配:铅橡胶帽子	铅悬挂防护屏/铅防护帘、床侧防护帘/床侧防护屏 选配:移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配:铅橡胶帽子	——
CT体层扫描(隔室)	——	——	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套	——
床旁摄影	铅橡胶围裙 选配:铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	——	铅橡胶性腺防护围裙(方形)或方巾、铅橡胶颈套 选配:铅橡胶帽子	移动铅防护屏风
<p>注1:“——”表示不要求。</p> <p>注2:各类个人防护用品和肤质防护设施,指防电离辐射的用品和设施。鼓励使用非铅材料防护用品,特别是非铅介入防护手套。</p>				

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理位置和场所位置

新昌县人民医院迁建工程位于浙江省新昌县七星街道碓下村，医院地块东侧为新中路，隔路为卧龙新村，南侧为孝行路，隔路为碓下村；西侧隔河道为金城文锦东苑小区；北侧为新和成路，隔路为新昌县七星小学和新昌技师学院七星校区。医院地理位置见图 1。

本项目核医学科和放疗科位于医疗综合楼负二层北侧，介入中心位于医疗综合楼四层北区，内镜中心位于医疗综合楼三层北区，放射科位于医疗综合楼一层北区，口腔科位于医疗综合楼三层北区。辐射工作场所具体位置详见附图 3。

8.2 环境电离辐射现状

根据《浙江省生态环境状况公报（2020 年）》，浙江省全省环境电离辐射水平处于本底涨落范围内。实时连续空气吸收剂量率、累积剂量和陆地 γ 辐射空气吸收剂量率处于当地天然本底涨落范围内。空气中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。曹娥江水系天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。土壤中天然放射性核素活度浓度处于本底水平，人工放射性核素活度浓度未见异常。

8.3 辐射水平现状监测

（1）监测依据

《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

《辐射环境监测技术规范》（HJ 61-2021）

《表面污染测定 第 1 部分： β 发射体（ $E_{\beta\max} > 0.15\text{MeV}$ ）和 α 发射体》（GB/T 14056.1-2008）

（2）监测因子和监测方案

环境现状评价的对象：拟建辐射项目区域及周边环境

①监测因子：X- γ 辐射剂量率、 β 表面污染

②监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

③监测日期：2021 年 8 月 2 日

④监测条件：温度 34℃，相对湿度 71%，多云

⑤监测频次：依据 HJ 1157-2021 标准予以确定

⑥监测仪器：便携式 X- γ 辐射周围剂量当量率仪， α 、 β 表面污染仪

表 8.3-1 便携式 X- γ 辐射周围剂量当量率仪相关信息

仪器名称	便携式 X、 γ 辐射周围剂量当量率仪
仪器型号	FH 40G-L10+ FHZ 672E-10
生产厂家	Thermo SCIENTIFIC
仪器编号	05035404
能量范围	30KeV~4.4MeV
量程	10nSv/h~100mSv/h,100nSv~1Sv
检定单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书	2021H21-10-3059578001
校准日期	2021年02月26日

表 8.3-2 α 、 β 表面污染仪参数

仪器型号	CoMo170
仪器名称	α 、 β 表面污染仪
生产厂家	NUVIA
仪器编号	05035883
能量范围	/
量 程	/
检定单位	上海市计量测试技术研究院
校准证书	2021H21-20-3059579002
校准日期	2021年02月26日

(3) 质量保证措施

- a 合理布设监测点位，保证各监测点位布设的科学性和可比性。
- b 监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。
- c 监测仪器每年定期经计量部门检定，检定合格后方可使用。
- d 每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。
- e 由专业人员按操作规程操作仪器，并做好记录。
- f 监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

8.4 监测点位和监测结果

8.4.1 监测点位

由于本项目拟建的所有辐射工作场所目前仍为空地，拟建区域内环境状况较为单一。考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在项目拟建场所布设监测点，并且在拟建场所周边周围环境状况不一致的区域布设监测点。具体监测点位布置情况详见图 8-1。

8.4.2 监测点位

辐射环境现状监测结果详见表 8.4-1 表 8.4-2。

表 8.4-1 X-γ辐射剂量率环境现状监测结果一览表

监测点编号	监点现状位置	监测结果 (nGy/h)	
		平均值	标准差
1#	拟建场址 1 号点位	117	3
2#	拟建场址 2 号点位	117	3
3#	拟建场址 3 号点位	108	4
4#	拟建场址 4 号点位	117	3
5#	拟建场址 5 号点位	141	3
6#	拟建场址 6 号点位	122	2
7#	拟建场址 7 号点位	119	3
8#	拟建场址 8 号点位	115	2
9#	拟建场址 9 号点位	136	3
10#	拟建场址 10 号点位	120	2
11#	拟建场址 11 号点位	119	3
12#	拟建场址 12 号点位	116	1
13#	拟建场址西北侧七星小学	96	2
14#	拟建场址北侧技师学院	100	3
15#	拟建场址东侧碓下村	87	1
16#	拟建场所南侧居民区	90	2
17#	拟建场所西侧居民区	85	2

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、所有测量值均已扣除宇宙射线，每个检测点测量 10 个数据取平均；

3、测量值经校准因子修正，辐射剂量率和周围剂量当量率的转换系数取 1.20Sv/Gy。

表 8.4-2 拟建场所及周围β表面污染检测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果 (Bq/cm ²)
1#	拟建场址 1 号点位	<0.13
2#	拟建场址 2 号点位	<0.13
3#	拟建场址 3 号点位	<0.13
4#	拟建场址 4 号点位	<0.13
5#	拟建场址 5 号点位	<0.13
6#	拟建场址 6 号点位	<0.13
7#	拟建场址 7 号点位	<0.13
8#	拟建场址 8 号点位	<0.13
9#	拟建场址 9 号点位	<0.13
10#	拟建场址 10 号点位	<0.13
11#	拟建场址 11 号点位	<0.13
12#	拟建场址 12 号点位	<0.13
13#	拟建场址西北侧七星小学	<0.13
14#	拟建场址北侧技师学院	<0.13
15#	拟建场址东侧碓下村	<0.13

16#	拟建场所南侧居民区	<0.13
17#	拟建场所西侧居民区	<0.13

注 1: 上表所列检测值均未扣除本底值。



图 8.4-1 项目监测点位示意图

根据监测结果可知，本项目拟建场址及周围各监测点位的X-γ辐射剂量率范围为85nGy/h~136nGy/h，即 $8.5 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 13.6 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ，根据《浙江环境天然贯穿辐射水平调查研究》可知，绍兴市区γ辐射剂量率在 $6.5 \times 10^{-8} \text{Gy/h} \sim 15.4 \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ 之间，可见本项目拟建辐射工作场所及周围X-γ辐射剂量率基本处于当地本底水平范围之内。

本项目拟建场址及周围各监测点β表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目辐射工作场所位于医疗综合楼负二层、一层、三层和四层，有关主体工程施工期环境影响内容详见《新昌县人民医院迁建工程环境影响报告书》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

9.2 工程设备和工艺分析

9.2.1 核医学科

本项目核医学科拟配置 14 名辐射工作人员，均为新聘人员。其中配置医生 2 人，负责显像诊断、阅片、抢救病人等；技师 8 人，负责设备操作与摆位，进行轮岗操作；护士 4 人，其中 3 人负责核素分装注射，另 1 人在候诊区护士站负责预约登记，4 人进行轮岗。

9.2.1.1 非密封放射性物质

本项目主要使用的非密封放射性物质有 ^{99m}Tc （SPECT/CT 显像）、 ^{18}F （PET/CT 显像）、 ^{131}I （甲亢治疗、甲测）。

（1）性能参数和计划工作量

本项目使用的 ^{99m}Tc 不开展分装， ^{18}F 根据病人的需要采用自动分装仪分装， ^{131}I 采用自动分碘仪分装。使用的放射性同位素均按照每日用量提前订购，运输到医院后当日可在储源室暂存，不贮存。

本项目各核素的性能参数见表 9.2-1，计划工作量见 9.2-2。

表 9.2-1 本项目放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比 (%)	主要 α 、 β 辐射能量 (MeV)	主要 γ 、X 射线能量 (MeV)	1m 处周围剂量当量率常数 (裸源) ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
^{99m}Tc	6.02h	IT(100)	/	0.140	0.0303
^{18}F	109.8min	EC (3.27) β^+ (96.73)	0.63	0.511	0.143
^{131}I	8.02d	β^- (100)	0.602	0.284,0.365,0.637	0.0595

表 9.2-2 本项目放射性同位素的计划工作量

核素	每人最大用量	日最大检查诊疗人数	年最大检查（治疗）人数	日最大用量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途
¹⁸ F	3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	20 人	5000 人(每周 5 天, 年 50 周)	7.40×10 ⁹ 1.48×10 ¹⁰	3.70×10 ¹²	PET 显像检查 备药
^{99m} Tc	9.25×10 ⁸ Bq (25mCi)	20 人	5000 人(每周 5 天, 年 50 周)	1.85×10 ¹⁰	4.63×10 ¹²	SPECT 显像 检查
¹³¹ I	3.70×10 ⁸ Bq (10mCi)	5 人	1250 人(每周 5 天, 年 50 周)	1.85×10 ⁹	4.63×10 ¹¹	甲亢治疗
¹³¹ I	3.70×10 ⁵ Bq (10μCi)	5 人	1250 人(每周 5 天, 年 50 周)	1.85×10 ⁶	4.63×10 ⁸	甲测

9.2.1.2 核医学科 SPECT/CT、PET/CT 诊断项目

(1) SPECT/CT

单光子发射计算机断层摄影(简称“SPECT”)基本原理是放射性核素的示踪作用：不同的显像剂在体内有其特殊的分布和代谢规律，能够选择性的聚集在特定脏器、组织或病变部位，使其与临近组织之间的放射性分布形成一定程度浓度差，而显像剂中的放射性核素可发射出具有一定穿透力的γ射线，利用探头对这些光子进行探测和记录，通过计算机处理从而获得脏器、组织或者病变部位的形态、位置、大小以及脏器功能图像数据。

SPECT/CT 是将 SPECT 和多排螺旋 CT 结合成一体化的设备，不仅提供 SPECT 功能信息，而且提供诊断 CT 的解剖信息。SPECT 本身不产生射线，仅作为光子接收和成像设备，服药后的病人作为辐射源项；CT 扫描过程中，CT 设备发射的 X 射线作为辐射源项。本项目医院核医学科拟配置的 SPECT/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV，电流不超过 800mA。



图 9.2-1 SPECT/CT 外观

本项目 SPECT/CT 显像诊断采用 ^{99m}Tc 放射性同位素标记，同位素从专业放射性同位素供货商购买，购买规格为单支装，医院无需进行分装。

(2) PET/CT

PET 正电子发射断层扫描 (Positron Emission Tomography, PET) 的工作原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能因子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术。

PET/CT (Positron Emission Tomography and Computer TOMO graphy)，全称正电子发射断层与计算机断层诊断技术，是在 PET (Positron Emission TOMO graphy) 和 CT(Computer TOMO graphy) 的基础上发展起来的新设备，充分结合了 PET 高灵敏度和 CT 高分辨率的优势。其原理是通过正电子核素或其标记的示踪剂，示踪人体内特定生物物质的生物活动，采用多层、环形排列于发射体周围的探头，由体外探测正电子示踪剂湮灭辐射所产生的光子，然后将获得的信息，通过计算机处理，以解剖影像的形式及其相应的生理参数，显示靶器官或病变组织的状况，藉此诊断疾病，又称为生化显像或功能分子显像，是目前唯一可以在活体分子水平完成生物学显示的影像技术；同时结合应用高档多排 CT 技术进行精确定位，可精确地提供靶器官的解剖和功能双重信息，并

能够独立完成多排螺旋 CT 的临床显像，大大提高临床使用价值。

PET/CT 扫描系统主要由扫描仪、显像床、电子柜、操作工作站、分析工作站和影像硬拷贝等组成，它是决定图像质量的基础。CT 扫描仪位于 PET 扫描仪的前方，两者组合在一个机架内，后配 PET、CT 融合对位工作站，一次成像同时完成 CT 及 PET 扫描。本项目医院核医学科拟配置的 PET/CT，型号尚未确定，仅确定其中使用的 CT 最大管电压不超过 140kV，电流不超过 800mA。

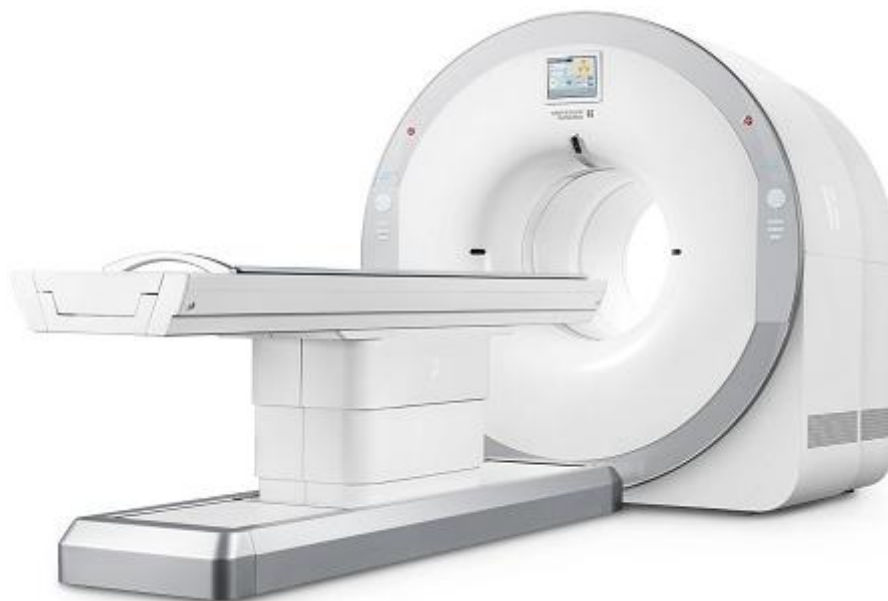


图 9.2-2 PET/CT 外观

本项目 PET 显像诊断采用 ^{18}F 放射性同位素标记，同位素从专业放射性同位素供货商购买，购买规格为铅罐罐装，由医院相关工作人员进行自动分装。

(3) 工作流程及产污环节分析

核医学科 SPECT/CT 和 PET/CT 诊断工艺流程及产污环节基本一致，主要工作流程见下图：

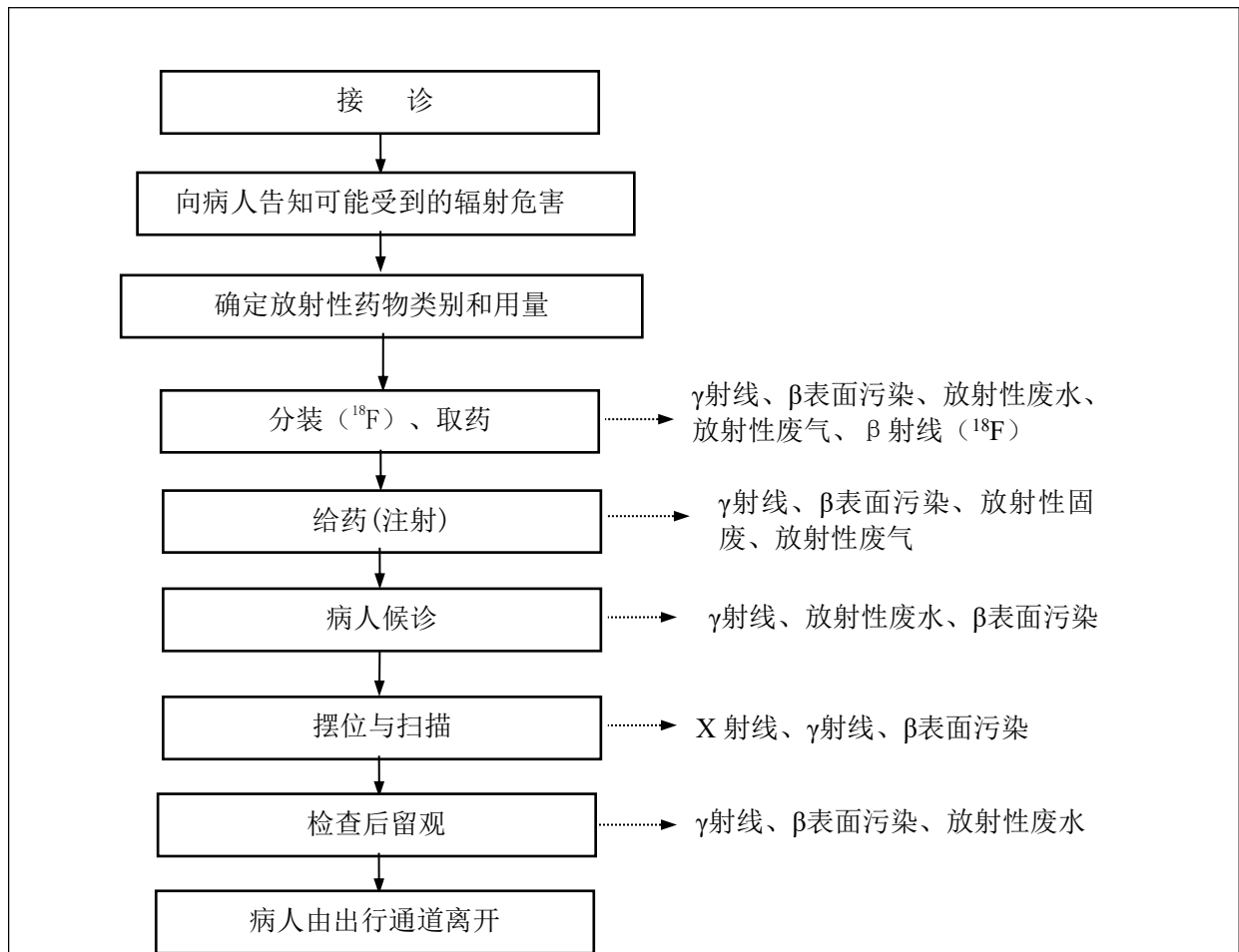


图 9.2-3 核医学科诊断工艺流程及产污位置图

①接收患者，并告知患者诊断过程存在辐射危害；

②医生根据病情确定使用核素的类别和剂量；

③病人通过注射将放射性药物摄入。在药品摄入过程中存在 γ 射线污染，同时会产生放射性废水、固废(注射器、棉球、一次性手套等)；

④病人摄入药品后进行候诊，候诊时间一般为 30min，候诊后通过仪器进行器官显像和诊断，在此过程中病人带有 γ 射线；

⑤检查后进入留观室，留观时间一般为 10min，无特殊情况发生则由患者通道离开。因此，用 ^{99m}Tc 、 ^{18}F 等核素标记项目污染因子是： γ 射线、 β 表面污染、放射性废水、放射性废气和放射性固废。

(4) PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT

由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线是随机器的开、关而产生和消失。因此，CT 装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，X 射线成为污染环境的主要因子。

9.1.2.3¹³¹I 治疗流程及产污环节分析

①甲状腺功能测定

甲状腺功能测定，是通过观察、测量甲状腺组织摄取和排出引入体内的¹³¹I的量与速度，来评价甲状腺的功能状态及其功能调节的情况。甲功测定单次¹³¹I给药量很小，最大用量仅为10 μ Ci。

②甲亢治疗

甲状腺具有高度选择性摄取¹³¹I的能力，功能亢进的甲状腺组织摄取量将更多，可高达血浆的几百倍，且在甲状腺内停留的时间较长，有效半衰期可达7.6天。在患者服用¹³¹I后，90%以上的¹³¹I都会聚集到患者的甲状腺，其余的¹³¹I随代谢排出体外。¹³¹I衰变为¹³¹Xe时放射出95%的 β 射线，该射线能量低，在甲状腺内的平均射程仅有0.5mm，一般不会造成甲状腺周围组织例如甲状旁腺、喉返神经等的辐射损伤。因此，¹³¹I治疗可使部分甲状腺组织受到 β 射线的集中照射，使部分甲状腺细胞发炎症、萎缩、直至功能丧失，从而减少甲状腺激素的分泌，使亢进的功能恢复正常，达到治疗的目的。

¹³¹I核素在衰变过程中主要释放 β 射线和 γ 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响， γ 射线对医护人员产生的外照射影响。

治疗流程：

- I、接收患者，告知患者诊断过程存在的辐射危害；
- II、医生根据病情确定使用核素的剂量；
- III、医生利用分碘仪远程将药物分装，远程指导患者口服，患者在服药室口服药物；
- IV、病人口服¹³¹I药品进行治疗。一般甲亢患者在留观室观察约10min，如无异常情况，可离开医院。甲测患者分别于服药后2h、4h、6h、24h由核医学科入口进入甲测室进行吸碘率的测定，然后打印报告，检查结束。甲测患者不在留观室和甲测室候诊，甲测患者服药后由患者出口离开核医学，等检测时间到后患者由核医学科入口进入甲测室进行测量，每次测量约1min。

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）规定，接受¹³¹I治疗的患者其体内放射性活度降至低于400MBq（10.8mCi）之前不得出院。本项目¹³¹I甲亢治疗患者单人用药量为10mCi，甲亢患者服药后可不必住院，经短暂观察无碍后离开核医学科。

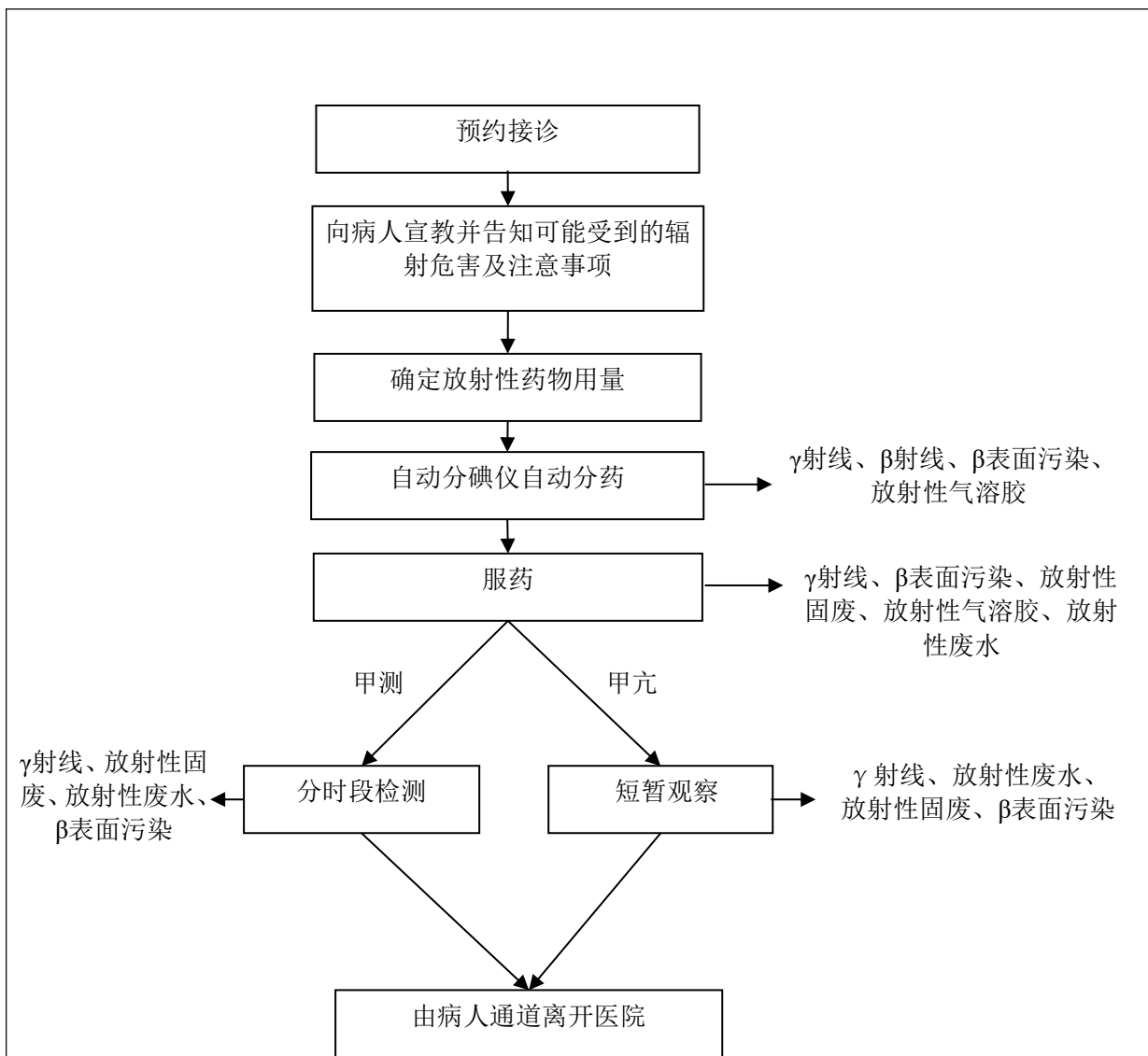


图 9.2-4 ¹³¹I 甲亢治疗和甲功能测定工艺流程及产污环节

9.2.1.4 核医学科人员、污物路径分析

①患者路径

患者从核医学科东南侧患者电梯厅进入负二层，向北进入核医学科候诊区，在此等候和登记、问诊、宣教，根据叫号通过核医学科东侧单向门禁（只进不出）进入核医学科内患者走廊，SPECT/CT和PET/CT患者至注射窗口接受药物注射，然后分别前往相应的候检室休息、候诊，然后进入机房接受扫描检查，患者在完成扫描后需进行留观，确认无恙后则由核医学科西侧患者出口单向门禁（只出不进）离开，不方便走楼梯的患者由留观室室南侧单向门禁经地下车库离开。甲亢和甲测患者根据叫号由核医学科东侧单向门禁（只进不出）进入核医学科内患者走廊，在服碘室服药，然后甲亢患者进行入对面的观察室进行短暂留观，留观无恙后由核医学科西侧患者出口单向门禁（只出不进）

离开，甲测患者直接由核医学科西侧患者出口单向门禁（只出不进）离开，按检测时间由患者电梯进入核医学科的甲测室进行检测。

所有患者离开后由楼梯至一层离开医院，患者出口为医院的地面绿化带或地下车库。

该路径上，患者出入口（患者走廊出入口）均设置单向门禁，仅允许患者单向通行。注射后候检室和留观室设有独立的卫生间，患者可在专用卫生间内如厕，不得随意走动。

②医护人员路径

医护人员由核医学科候诊区的医护通道进入，经更衣后向西直接进入 SPECT/CT、PET/CT 机房控制室。核医学科护士经过缓冲区向北进入分装注射室进行分药、施药，完成工作后再经缓冲经检测表面污染、洗手，必要时淋浴后才能回到非放射工作场所。缓冲间拟配置表面污染监测设备及去污工具组，设置有感应式洗手池和淋浴设施。

③放射性药物路径

放射性药物配送人员每天上班前从核医学科西侧患者出口防护门进入患者走廊，向东经过分装注射室，然后将预定的放射性药物送至源库，并由专人进行交接，交接过程均在监控下进行，医院拟制定放射性药物管理制度，做好放射性药物的台账管理。

④污物路径

分装注射室、SPECT/CT 候检室、PET/CT 候检室、留观室、服碘室、观察室、甲测室各设 1 个脚踏式铅桶，污物间设置 1 个衰变箱，放射性固废经分类收集后转至污物间的衰变箱衰变，衰变时间满足要求后选择在下班后无病人时段，送至医院医疗废物库集中收集后按医疗废物处置。患者在留观、候诊期间冲厕产生的含少量放射性核素的废水、工作人员清洗废水、工作场所清洗废水等均由专用污水管道汇入核医学楼负二层提升井，经泵提升至地面绿化地埋式的衰变池，衰变至少 180 天后经监测达标并经审管部门确认或批准后抽排至医院污水处理站进一步处理。

“三废”排放路线合理性分析：本项目核医学科核素诊断工作场所活性区排风管路与非活性区排风管路分开设置，活性区共设有 5 支排风管道。①分装注射室手套箱单独设置一条管路，风量 $1500\text{m}^3/\text{h}$ ，风速不低于 0.5m/s ；SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT 候检室、运动负荷室、甲亢观察室、甲测室为一支通风管道，风量 $2000\text{m}^3/\text{h}$ ；分装注射室、服碘室、给碘室、源库、污物间为一支通风管道，风量 $3000\text{m}^3/\text{h}$ ；三支排风管线绕过生活水箱，由核医学科南侧的风井汇至总管，由轴流式风机抽排至医疗综合楼楼

顶排放，排放口高出屋脊，风机房风机端设置二级活性炭过滤装置；PET/CT 候检室、留观室、抢救室设置 1 支排风管道，风量为 1500m³/h；活性区内卫生间设置 1 支排风管道，风量 1500m³/h，两支管线由核医学科西南侧排风井抽排至医疗综合楼楼顶排放，风机房风机端设置一级活性炭过滤装置。建设单位在排风口和送风口均设置风量调节阀，通过调节风量保证控制区内为负压，空气流动由低浓度向高浓度区的流向。五支排风管线风机房风机端均设置活性炭吸附装置②非活性区域医生诊室、办公室、控制室、报告书写室、更衣室等统一收集由一路管道至核医学科西侧风井，经风机抽排至医技楼屋顶排放。因此，本项目根据废气的浓度差异分开收集，放射性废气单独处理的方式是合理可行的。

活性区域管路排风口设置在医疗综合楼顶楼（高约 35m），且设置活性炭过滤装置吸附处理后排放。一级活性炭装置填装量为 25kg，二级活性炭装置填装量为 50kg，平均每半年更换一次。医院应根据核医学科工作量、季节及气候不同适时增加活性炭更换频次，以维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。更换的活性炭应暂存于污物间衰变符合清洁解控要求后按一般医疗固废进出处置。核医学科各房间的放射性废物收集在相应的污物间后，经自然衰变且监测符合要求后，经由病人通道运出，不涉及周边公众区域，该路线是合理可行的。另外，核医学科各排放点位的放射性废水经管道收集后可重力自流排入负二层集水井内，经提升泵提升至地面埋地式的衰变池，经衰变池衰变后经监测符合排放标准，经审管部门确认或批准后送至医院污水处理站进一步处理。放射性废水管线避开周边公众区域，其路径设置也是合理可行的。

9.2.2 直线加速器

本项目 1 台 10MV 医用电子直线加速器。辐射工作人员配备如下：医师 2 人，技师和物理师各 2 人，共 6 人。加速器周工作负荷为 1500Gy/周，出束时间为 4.2h/周，年最大出束时间为 210h。

（1）设备参数

根据医院提供的资料，本项目拟新增的医用直线加速器的主要参数见表 9.2-3。

表 9.2-3 医用电子直线加速器的主要参数表

参数名称	参数值
最大能量	X 射线最大能量：10MV； 电子线最大能量：15MeV
X 射线泄漏率	≤0.1%
源轴距 SAD	1m

等中心高度	1.3m
距靶 1m 处常用最高剂量率	10MV, X 射线最大剂量率: $3.60 \times 10^8 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2/\text{h}$
最大照射野大小	40cm*40cm
机架旋转角度	$\pm 180^\circ$

(2) 工作原理

医用电子直线加速器是产生高能电子束的装置，为远距离放射性治疗机。工作原理为电子枪产生的电子由微波加速波导管加速后进入偏转磁场，所形成的电子束由电子窗口射出，经调制、准直后射向患者病灶，或者通过 2cm 左右的空气射到金属钨靶，产生大量高能 X 射线，其最大能量为电子束的最大能量，经一级准直器和滤线器形成剂量均匀稳定的 X 线束，再通过监测电离室和二次准直器限束，最后到达患者病灶。因此，医用电子直线加速器应用放射治疗的模式有 X 射线和电子束两种模式。

(3) 设备组成

医用电子直线加速器是以磁控管为微波功率源的驻波型直线加速器。主要装置包括沿水平轴旋转光子束框架、沿垂直轴旋转的治疗床、控制光子束准直器、定向架或变形塑料定向架。典型的直线加速器的结构系统如图 9.2-5。

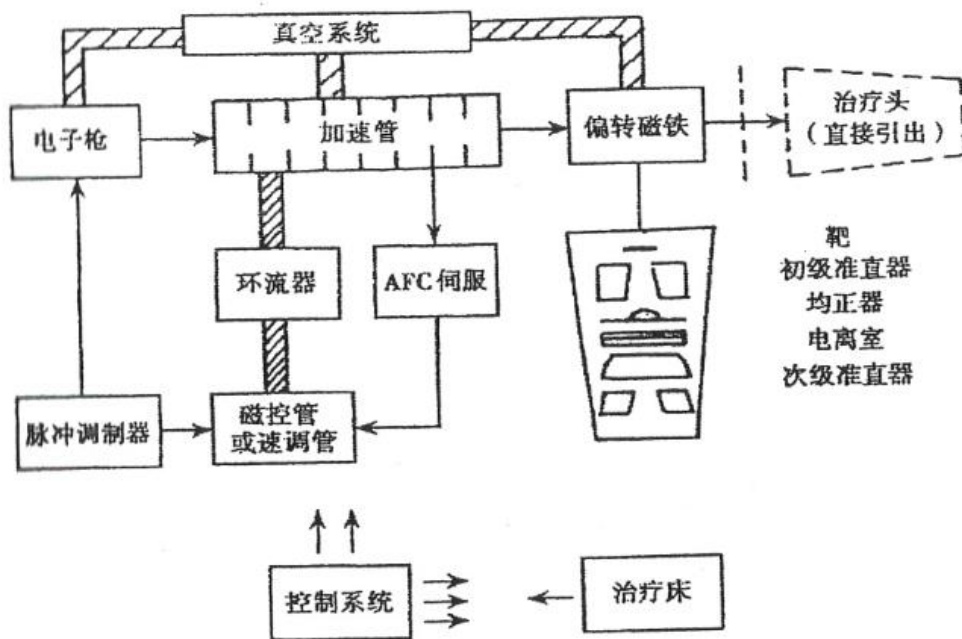


图 9.2-5 典型的直线加速器的结构系统图

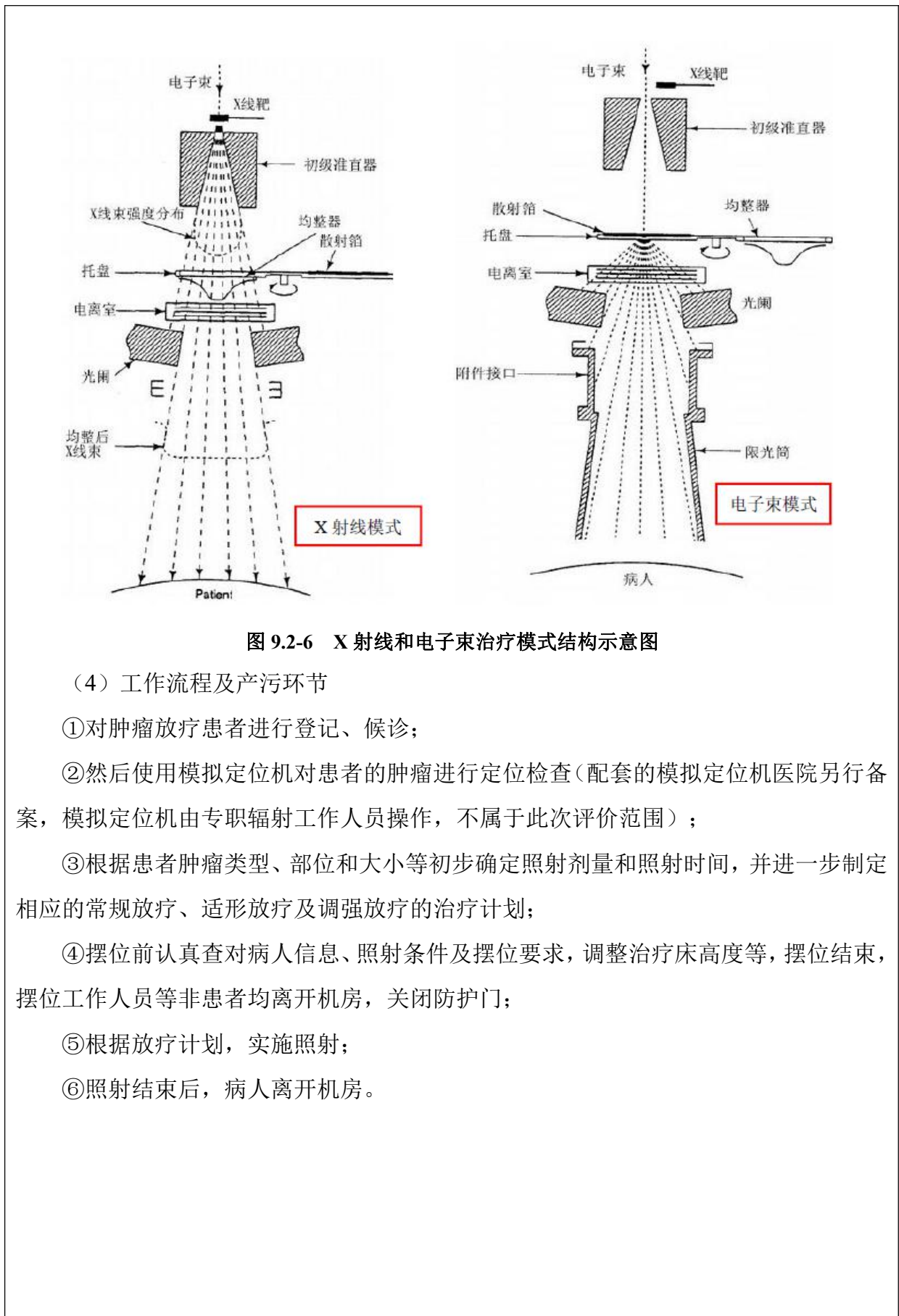


图 9.2-6 X 射线和电子束治疗模式结构示意图

(4) 工作流程及产污环节

- ①对肿瘤放疗患者进行登记、候诊；
- ②然后使用模拟定位机对患者的肿瘤进行定位检查（配套的模拟定位机医院另行备案，模拟定位机由专职辐射工作人员操作，不属于此次评价范围）；
- ③根据患者肿瘤类型、部位和大小等初步确定照射剂量和照射时间，并进一步制定相应的常规放疗、适形放疗及调强放疗的治疗计划；
- ④摆位前认真查对病人信息、照射条件及摆位要求，调整治疗床高度等，摆位结束，摆位工作人员等非患者均离开机房，关闭防护门；
- ⑤根据放疗计划，实施照射；
- ⑥照射结束后，病人离开机房。

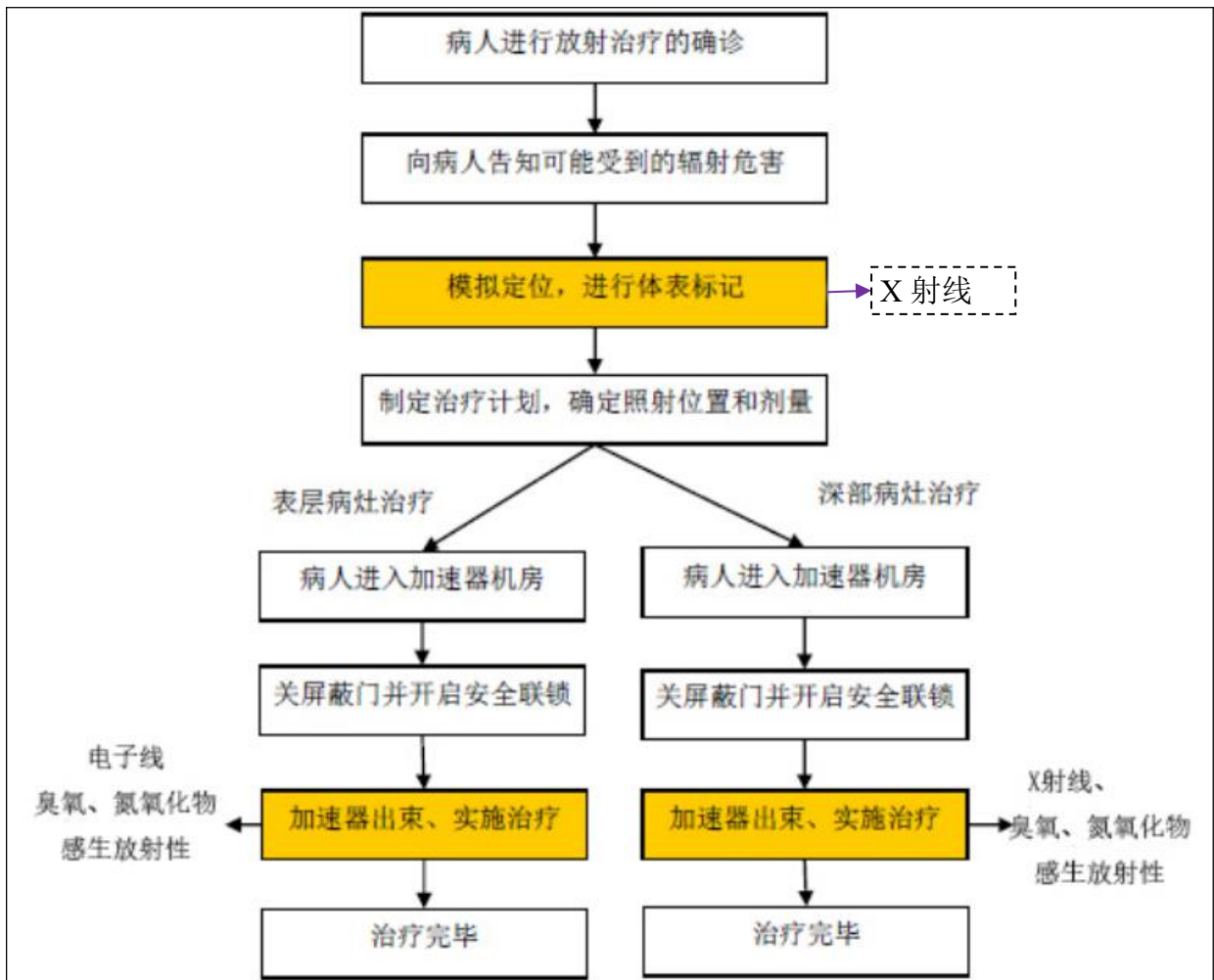


图 9.2-7 医用直线加速器的作业流程及产污环节示意图

10MV 医用电子直线加速器：正常工况时，射线装置治疗污染源项主要为开机状态下产生的 X 射线和电子线，同时其产生少量臭氧及 NO_x 废气。另外，当治疗电子线能量大于 10MeV，设备机头会产生感生放射性；更换或维修产生的废靶由厂家回收。

本项目医用直线加速器的 X 射线能量最高为 10MV，产生的中子额度可忽略不计，因此本次评价不考虑中子辐射及俘获 γ 射线。加速器机房墙体采用单一混凝土屏蔽，因此根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》（GBZ/T 201.1-2007），可忽略对中子的屏蔽。保守起见，项目加速器防护门考虑的中子的防护。

（5）人流路径规划

①患者路径

患者由医疗综合楼患者电梯进入负二层，向北进入候诊区，再由放疗科入口进入二次候诊区，根据叫号后进入加速器机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径

医护人员通过医疗综合楼电梯厅进入负二层，向北通过医护走廊经更衣后，进入医护办公区域，向东进入加速器机房的控制室，完成工作后原路返回。

9.2.3 后装机

(1) 后装机基本情况

本项目后装机采用 ^{192}Ir 核素为放射源，根据医院提供的资料，后装机拟配备辐射工作人员 4 名，每天工作 8 小时，每年工作 250 天。后装机设计治疗 15 人次/d，平均每名患者治疗时间为 6min/人次，年工作 250d，则年工作时间为 375h。

表 9.2-4 放射源 ^{192}Ir 的性能参数

放射源	类别	数量	半衰期	状态	衰变类型及分支比 (%)	初始活度 (Bq)	空气比释动能率常数 [$\mu\text{Sv}/(\text{h}\cdot\text{MBq})$]
^{192}Ir	III	1	74.02d	固态	γ 衰变、 β 衰变 (95.22%)电子俘获(4.78%)	3.7×10^{11}	0.111

(2) 设备组成

后装机为计算机控制的遥控后装系统，包括后装主机、3D 近距离治疗计划系统和各种施源器。后装主机部分包括后装治疗机和控制台，后装治疗机安装在治疗室内，控制台电脑安放在控制室内，遥控操作。配备彩色闭路电视监视系统和对讲机系统，监视系统包含“推、拉、摇、移”功能的云台、摄像头、监视器和控制面板；对讲机系统，用于治疗师和病人之间的通话；系统自带独立的射线监测装置，并在治疗室内及控制台处装有声光显示。

贮源器是贮存后装治疗用放射源的容器，包括供运输（或暂存）放射治疗源用的运输贮源器和供后装机配套用的工作贮源器，工作贮源器位于后装机机体中央，一般采用钨合金屏蔽材料，保证贮源器没有伽玛射线泄漏的直接路径。运输（或紧急/维修）贮源器用于放射源的运输、在放射源不能进入后装机的贮源器，或在维修后装机驱动机械部分时，临时存放放射源，运输贮源器由设备供货厂家提供并同放射源一起更换。

施源器是预先放入人体腔、管道或组织间，供放射源驻留或运动，并实施治疗的特殊容器；通道是在后装机中专供密封放射源或其组件在其中运动的轨迹，此通道与贮源器和施源器相连接。典型后装机和施源器外形图如图 9.2-8 所示。



图 9.2-8 典型后装机和施源器外形图

后装机是一种新型的 γ 源近距离放射治疗设备，用遥控或手动的传送方式，将一个或多个密封源从贮源器到预先设定好位置的施源器之间传送，在患者身体腔内利用放射源的 γ 射线对肿瘤进行治疗。通过施源器结构、形状的特殊设计，能够将放射源准确安全地输送到患者需要治疗的部位进行放射治疗，可最大限度地保护患者肿瘤部位邻近正常组织和器官，同时可避免放射治疗过程中放射源对医务人员的影响。

后装机是将施源器放置于人体腔、管道或组织间瘤体表面，在衰变过程中不断放出 γ 射线，通过计算机控制系统，使放射源直接在瘤体表面或瘤体内进行放疗。

(3) 治疗工艺流程

本项目后装治疗机使用 1 枚 ^{192}Ir 放射源，新源的活度大约 $370\text{GBq}(10\text{Ci})$ ，其直径 $<1.0\text{mm}$ ，长度 $<4.6\text{mm}$ ，用激光焊接于弹性驱动线缆上，从分度盘至最远的位置为 1500mm 。治疗过程施源方式为遥控，通过视频系统可清晰观察后装机及放射源的情况，系统配有后装机放射源位置模拟尺、放射源位置检查尺和 GAFCHROMIC 胶片条，后装机放射源位置模拟尺用于测量施源器内部长度和在透视片中显示驻留位置；放射源位置检查尺专用于测量和验证放射源的位置（末端位置）。放射源验证系统用于测量后装机放射源的强度。

治疗前先由放疗技师根据患者病患情况放置施源器，然后由工作人员将病人送入后装治疗室内，接上与源相连的导管，然后借助后装治疗机将源送到需要照射的部位，放射源的输送由工作人员在控制室遥控操作。先驱动假源探路，正常后缩回假源，再驱动

真源按计划执行治疗，放射源步进到位精度为 mm 级。

治疗结束后，通过遥控控制源返回贮源器内，系统装有联锁装置，在治疗室的门未关闭或按下紧急按钮时，源不会送出或将已送出的源撤回，确认源安全返回贮源器内，方可通过操作台控制打开迷路防护门，辐射工作人员将病人送出治疗室。

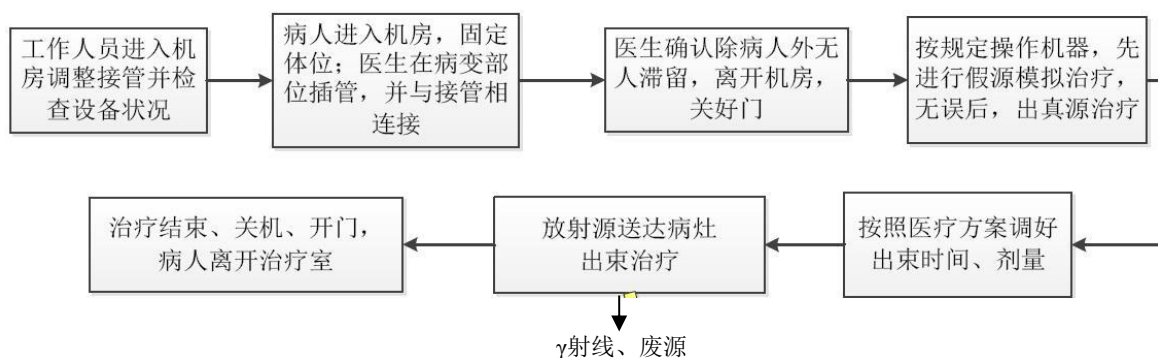


图 9.2-9 后装机近距离治疗工作流程及产污环节示意图

(4) 换源操作

根据放射源出厂活度，后装机约 111 天需要更新放射源一次。废源由供源单位按照合同协定负责调换、运输、处置，医院负责日常安全使用及管理。¹⁹²Ir 后装机换源时需制定周密的计划，并且报相关部门备案。

换源流程具体如下：换源工作人员先行将专用的贮源器（专用贮源器的屏蔽能力与后装机未出源时的屏蔽能力基本一致）与后装机用输源管连接，然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制其出源，源进入专用的贮源器后，待回收；然后换源工作人员将含有新源的专用贮源器上一根长约 1m 的钢丝连接到后装机（钢丝的另一端即为新源），然后退出机房，关闭防护门，通过电脑控制将钢丝连同新源一起进入后装机，完成一次换源工作，废源由放射源供源单位负责回收，不在医院后装机房内暂存。

(5) 人员路径

①患者路径

患者由医疗综合楼患者电梯进入负二层，向北进入候诊区，再由放疗科入口进入二次候诊区，根据叫号后进入后装机房进行治疗，治疗结束后原路返回。

②医护人员路径

医护人员通过医疗综合楼电梯厅进入负二层，向北通过医护走廊经更衣后，进入医护办公区域，向东进入后装机机房的控制室，完成工作后原路返回。

9.2.4 DSA

本项目新增 3 台 DSA，位于医疗综合楼四层北区。本项目单台 DSA 手术台数预计为 400 例/年，单台 DSA 减影曝光时间为 1min，透视为 20min，则单台 DSA 减影过程年总曝光时间为 6.7h，透视过程年总曝光时间为 133.3h。

(1) DSA 装置工作原理及工艺流程

X 射线诊断装置主要由 X 射线管和高压电源组成。X 射线管由安装在真空玻璃壳中阴极和阳极组成，阴极是钨制灯丝，它装载聚焦杯中，当灯丝通电加热时，电子就“蒸发”出来，二聚焦杯使这些电子聚集成束，直接向嵌在金属阳极中的靶体射击。靶体一般采用高原子序数的难熔金属制成。高电压加在 X 射线管和两极之间，使电子在射到靶体之前被加速达到很高的速度，这些高速电子到达靶面为靶所突然阻挡从而产生 X 射线。X 射线管基本结构如图 9.2-10 所示。

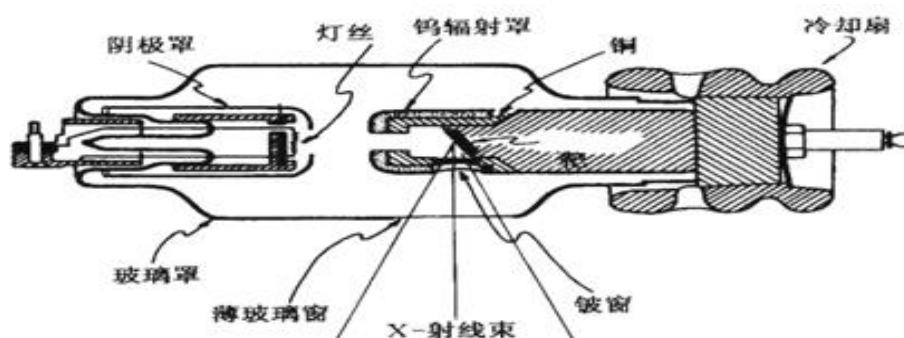


图 9.2-10 典型X 射线管结构图

DSA 是通过电子计算机进行辅助成像的血管造影方法，是应用计算机程序进行两次成像完成的。在注入造影剂之前，首先进行第一次成像，并用计算机将图像转换成数字信号储存起来。注入造影剂后，再次成像并转换成数字信号。两次数字相减，消除相同的信号，得知一个只有造影剂的血管图像。这种图像较以往所用的常规脑血管造影所显示的图像更清晰和直观，一些精细的血管结构亦能显示出来。且对比度分辨率高，减去了血管以外的背景，尤其使与骨骼重叠的血管能清楚显示；由于造影剂用量少，浓度低，损伤小、较安全；节省胶片使造影价格低于常规造影。通过医用血管造影 X 射线机处理的图像，使血管的影像更为清晰，在进行介入手术时更为安全。

(2) 设备组成

DSA 主要组成部分：带有影像增强器电视系统的 X 射线诊断机、高压注射器、电子计算机图象处理系统、治疗床、操作台、磁盘或磁带机、多幅照相机。

(3) 操作流程

接诊患者后根据其病情确认诊疗方法，告知患者及家属采用 DSA 治疗的辐射危害。

患者进入机房后，技师或护士协助摆位后离开机房（患者留下）。开启 DSA 设备，技师在控制室内首次拍片初步确认病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品进入机房，在透视操作下插入导管，输入造影剂，之后离开机房，技师在控制室内再次拍片，当确诊病灶部位后，手术医生穿戴好防护用品后再次进入机房进行介入治疗直到治疗结束，关机。

DSA 在进行曝光时分为两种情况：

第一种情况，透视。进行介入手术治疗时，为更清楚的了解病人情况时会有连续曝光，并采用连续脉冲透视，此时医生位于铅帘后身着铅橡胶围裙、铅防护眼镜在曝光室内对病人进行直接的介入手术操作。该情况在实际运行中占绝大多数，是本次评价的重点。

第二种情况，减影。操作人员采取隔室操作的方式（即技师在控制室内对病人进行曝光），医生通过铅玻璃观察窗和操作台观察机房内病人情况。

（4）污染因子



图 9.2-11 DSA 治疗流程及产污环节示意图

DSA 的 X 射线诊断机曝光时，主要污染因子为 X 射线。注入的造影剂不含放射性，同时射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。DSA 操作流程及产污环节如图 9.2-11 所示。

综上所述，DSA 在开机状态下，产生的污染因子主要为 X 射线、臭氧和氮氧化物，无其他放射性废气、废水及固体废物产生。

(5) 人流、物流路径规划

①患者路径

患者由手术专用电梯厅进入介入中心，经洁净走廊由机房患者防护门进入机房接受治疗。

②医护人员路径

医护人员由医疗综合楼中部电梯厅进入介入中心，通过医护走廊，更衣换鞋后进入手术区域，再经洁净走廊分别进入控制室和 DSA 机房内，工作结束后返回至医生办公区。

③污物路径

介入手术会产生药棉、纱布和手套等医疗废物，这些医疗废物采用专用容器收集后，待手术结束后从 DSA 机房南侧污物防护门运出机房，经专用的污物走廊运至机房东侧的污物暂存间。

9.2.5 ERCP

本项目拟在医疗综合楼三层北区内镜中心新增 1 台 ERCP，ERCP 年最大手术量为 300 台，主要开展经内镜逆行胰胆管造影介入手术。按照 1 台手术减影曝光时间取 1min，透视时间取 20min，则 ERCP 减影过程年总曝光时间均为 5h，透视过程年总曝光时间均为 100h。

(2) 设备组成及工作原理

ERCP 装置主要由平板探测器、专用 X 线机（球管）、C-arm 支持系统、造影导管、操作台与工作站组成。主要结构部件 X 线机（球管）与 DSA 原理相同。

经内镜逆行性胰胆管造影术（ERCP）是指将十二指肠镜插至十二指肠降部，找到十二指肠乳头，由活检管道内插入造影导管至乳头开口部，注入造影剂后 X 线摄片，以显示胰胆管的技术。由于 ERCP 不用开刀，创伤小，手术时间短，住院时间也大大缩短。在 ERCP 的基础上，可以进行十二指肠乳头括约肌切开手术（EST）、内镜下放置鼻胆引流管（ENBD）治疗急性化脓性梗阻性胆管炎、行胆管支架引流术、胆总管结石取石术等介入治疗。

(3) 工作流程

- ①接诊病人后，向病人告知可能受到的辐射危害；
- ②病人准备完毕进入机房摆位、固定，然后进入机房内对病人进行局部消毒处理和局部防护处理；
- ③医生进行插镜（十二指肠镜经口依次通过食管、胃、进入十二指肠降段，找到十二指肠乳头）、插管（将导管插入乳头），配合透视注入造影剂；
- ④完成造影剂注入后，医生退出机房，通过控制室操作台对病人进行拍片，得到病人病灶部位清晰影像资料；
- ⑤根据拍片结果和治疗方案，医生再次进入机房内配合内镜对病人病灶部位进行相应治疗。

ERCP 装置操作流程及产污环节示意图见图 9.2-12。

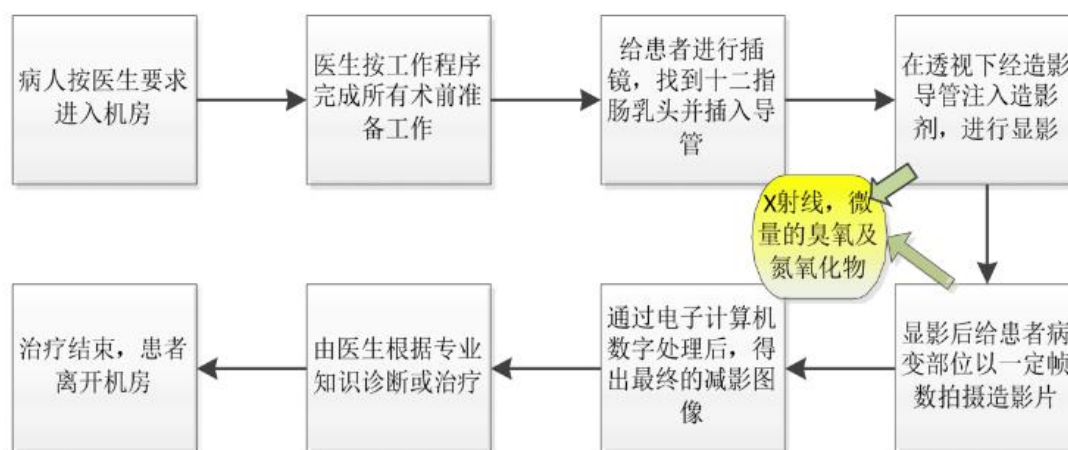


图 9.2-12 ERCP 装置治疗流程及产污环节示意图

项目使用 ERCP 射线装置主要污染物因子为 X 射线与臭氧、氮氧化物。

(4) 人流路径规划

医护和患者均从机房南侧内镜中心候诊，然后经机房南侧走廊进入 ERCP 机房内接受治疗。医生则通过医生走廊进入控制室。

9.2.6 放射科及其他Ⅲ类射线装置

CT 是计算机断层 X 射线摄影术（Computed Tomography）的简称，它使用了精确准直的 X 射线从各种不同的离散角度扫描所关注的断层平面，利用探测器记录透射光束的衰减量，并经过数学运算，电子计算机处理相应数据，从而产生一个以检查层的相对衰减系数为依据的躯体横断面的影响。

DR 是直接数字化 X 射线摄影系统（Digital Radiography）的简称，它使用 X 射线

探测器将人体的 X 线能量转换和数字化，包括 X 线采集、转换、量化、传输、处理、显示等在内的整个 X 线成像过程均是数字化信息处理过程。

数字肠胃机是用来检测胃肠道疾病的 X 射线检测设备，主要对咽喉部、食道、胃等各种部位进行造影诊断，是检查各种溃疡、肿瘤等疾病的主要检查方法之一。

牙片机和口腔全景机是用来检测口腔疾病的 X 射线检查设备，主要对口腔内牙齿及骨骼等各种部位进行造影诊断，是检测各种牙科疾病的主要检查设备之一。

C 型臂机由 C 型机架、产生 X 射线的球管、采集图像的影像增强器和 CCD 摄像机以及图像处理的工作站组成，产生的 X 射线经人体后由影像增强器接受透视图像，该图像由摄像机摄取并经处理后显示，主要用于各种手术中造影、摄影等工作。

车载 DR 是车载式的移动 DR，其工作原理与 DR 一致。

CT 等 III 类 X 射线装置工作流程基本相同，其工作流程如下：

(1) 病人经医生诊断、诊断正当性判断后，确定需要 X 射线影像诊断的病人与相关科室预约登记。

(2) 受检者按约定时间在候诊区准备和等候。

(3) 检查室内在放射科医生的指导下正确摆位。

(4) 医生进行隔室操作，利用各种 X 射线影像诊断设备进行拍片/透视。

(5) 检查结束离开检查室。

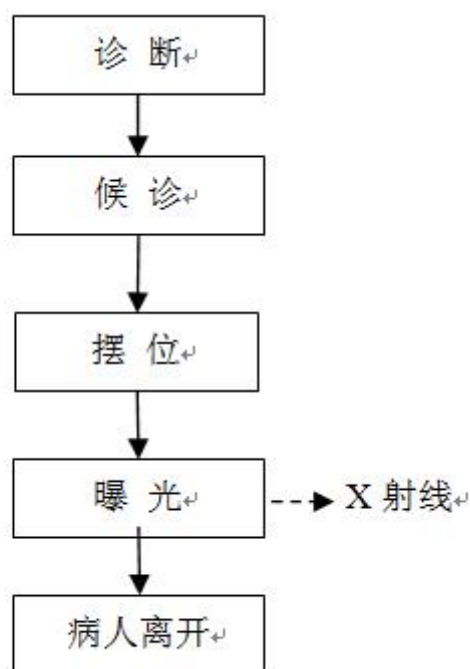


图 9-9 X 射线装置工作流程及产污环节

CT 等Ⅲ类 X 射线装置在非开机状态下不产生射线，只有在开机并处于出束状态时才会发生 X 射线。另外，X 射线会与空气发生电离作用，会产生少量臭氧和氮氧化物。因此，X 射线装置在开机诊断期间主要污染物因子为 X 射线、臭氧和氮氧化物。

上述各射线装置在运行时无其它废气、废水和固体废弃物产生。

9.3 污染源项

9.3.1 正常工况下污染源项

9.3.1.1 核医学科污染源项分析

(1) γ 射线和 β 射线

本项目核医学科 SPECT/CT 显像使用 ^{99m}Tc 核素标记，PET/CT 显像使用 ^{18}F 核素标记，同时使用 ^{131}I 核素进行甲亢治疗和甲功能测定。

^{99m}Tc 在衰变过程中释放 γ 射线， γ 射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响； ^{18}F 发射的正电子与负电子相结合，能产生湮没 γ 光子辐射，同时释放少量 β 射线。 ^{131}I 核素在衰变过程中释放 β 射线和 γ 射线， β 射线穿透力很弱，在组织内辐射距离很短，不会对环境产生明显影响。因此 γ 射线是核素使用过程中的主要污染因子。

以服药病人视为裸点源，在距源 1m 处 γ 射线辐射剂量率详见表 9.3-1。

表 9.3-1 γ 辐射剂量率

源项	核素	单人最大施药活度(MBq)	1m 处周围剂量当量率常数(裸源) [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2(\text{MB}\cdot\text{h})^{-1}$]	1m 处周围剂量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
甲亢治疗	^{131}I	370	0.0595	22.0
甲测	^{131}I	0.37	0.0595	0.022
SPECT/CT 显像	^{99m}Tc	925	0.0303	28.0
PET/CT 显像	^{18}F	370	0.143	52.91

注：核素参数来源于《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)附录 H。

(2) β 表面污染

^{99m}Tc 核素和 ^{18}F 核素操作均在手套箱内进行，操作过程可能会对工作台、地面造成小面积的 β 表面污染。对于 ^{131}I 核素患者服药后，一次性杯子表面残留的 ^{131}I 撒漏，对地面造成放射性表面污染。

(3) 放射性废水源强

本项目核医学科放射性废水主要为核素操作人员淋洗废水、患者候诊或留观期间产

生的如厕废水以及工作场所清洗废水。本项目核医学科各项诊疗均为门诊治疗，病人在核医学科停留时间短，采用节水型洁具。医院核医学科每日门诊按最大检查病人量 50 人计（ ^{99m}Tc 20 人次/日、 ^{18}F 20 人次/日、 ^{131}I 10 人次/日），每年则 12500 人次。参考《建筑给水排水设计标准》（GB50015-2019），门诊患者每人每次用水定额取 10L，废水排污系数取 0.8，则患者就诊每年产生放射性废水 100m^3 。工作人员在完成一天的分装、注射工作后需进行污染监测，并进行去污清洗而产生放射性废水，同时工作场所需进行场所清洗，类比同类型医院，每天清洗废水产生量约 100L，每年工作 250 天，则每年产生的清洗废水约 25m^3 。因此本项目核医学科工作场所废水产生量为 $125\text{m}^3/\text{a}$ ，平均 $0.5\text{m}^3/\text{d}$ （以 250 天计）。

（4）放射性固废源强

放射性固体废物主要为一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品以及废气处理更换的废活性炭等。

根据本项目开展方案，核医学科每日门诊按最大检查病人量 50 人计（ ^{99m}Tc 20 人次/日、 ^{18}F 20 人次/日、 ^{131}I 10 人次/日），每年则 12500 人次。类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约 $0.05\text{kg}/\text{人次}$ ，则本项目核医学门诊诊疗放射性固废产生量为 $625.0\text{kg}/\text{a}$ 。

本项目核医学科废气排放口更换下的废活性炭将存放于衰变箱中，并标注活性炭存放日期、存放量等，满足清洁解控水平（以 ^{131}I 核素）后作为一般医疗废物处理。本项目核医学科共设五支排风管线，每支排风管线风机端均设置活性炭过滤装置，其中高活性区分装注射室、服碘室、给碘室一支排风管线设置二级活性炭装置，活性炭填装量分别为 50kg ，其他为一级活性炭装置，活性炭填装量分别为 25kg ，平均每半年更换一次，则废活性炭每年产生量为 300kg 。

（5）放射性废气源强

本项目 ^{99m}Tc 核素和 ^{18}F 核素均为外购，其核素操作均在手套箱进行，无开放液面， ^{99m}Tc 和 ^{18}F 为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，因此其产生的气溶胶量极少，不作定量计算。 ^{131}I 药物具有挥发性，在药物分装、使用过程会产生少量的放射性气溶胶，因此本项目放射性废气主要为含 ^{131}I 核素废气。

本项目使用的 ^{131}I 均由供货商由铅罐送至核医学科储源室，使用时，工作人员将铅

罐置于自动分碘仪，使用过程中 ^{131}I 核素均处于密闭状态，无开放性液面，且含碘工作场所废气排风机前段设置有两级活性炭吸附装置，过滤效率不低于 99%，则排放口含 ^{131}I 核素浓度很小，对周围环境影响不大。

表 9.3-2 核医学放射性废气源项

场所	核素	气体排放源项 (Bq/h)	通风量 (m ³ /h)	放射性气体的浓度 (Bq/m ³)	处理措施	处理效率 (%)	排风口浓度 (Bq/m ³)
核医学科	^{131}I	2.31×10^5	3000	77	二级活性炭装置	99	0.77

9.3.1.2 直线加速器污染源项分析

(1) X 射线

直线加速器运行时，从电子枪发出来的电子束，在加速管内经加速电压加速，轰击到钨金靶上，产生 X 射线用于治疗。本项目加速器 X 射线最大能量为 10MV。由于 X 射线贯穿能力强，将对工作人员、公众及周围环境造成一定的辐射污染，包含以下几种 X 射线辐射：

①有用线束

当直线加速器光阑完全打开时，从辐射头靶射出的 X 射线为一个半角 14°的锥形线束，其能量为 10MV。有用线束是唯一用于治疗目的的射线。

②泄漏辐射

由靶向外从各个方向穿过辐射头泄漏出来的射线称为漏射线。漏射线遍布机架各处，因此泄漏线辐射源到任一点的距离会因机架角度不同而变化。

③散射辐射

当有用线束射入治疗床上的人体时，会产生散布于各个方面上的次级散射辐射，这种射线的能量和剂量率比有用线束低得多，剂量率大小决定于被照区域，初级射线能量和散射角度。

直线加速器停止运行后，无 X 射线污染产生。

(2) 电子线

此外本项目加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时，会产生电子线，电子线最高能量为 15MeV，高能电子线随机器的开关而产生和消失。

(3) 感生放射性

此外本项目加速器处于电子束模式下使用初始电子线进行浅层治疗时,会产生能量最大为 15MeV 电子线;根据《辐射防护手册:辐射源与屏蔽》(第一分册)中 P226 页,绝大数天然核素的(γ , n)反应阈能在 10MeV 以上,当治疗电子线能量大于 10MeV 时,会产生光核反应,从而产生感生放射性。它主要包括两个方面:1)加速器结构材料等的感生放射性;2)气态感生放射性核素,如 ^{15}O 、 ^{13}N ,其半衰期很短,一般在正常通风情况下,感生放射性气体不会对辐射工作人员和病人造成危害。

建议医院尽量使用 X 射线和低于 10MeV 的电子线进行肿瘤治疗。

(4) 废靶

直线加速器的金属靶件更换时会有废靶件产生。

(6) 臭氧和氮氧化物

加速器在运行过程中, X 射线作用于空气以及次级辐射等因素,可产生少量臭氧及微量氮氧化物,通过排风系统排入大气。

综上,开机期间,医用电子直线加速器主要污染因子为 X 射线、其次为电子、感生放射性,另有废靶件、少量臭氧、微量氮氧化物。

9.3.1.3 后装机污染源项分析

后装治疗机使用 ^{192}Ir 密封源,治疗时由储源器将其顺着输源管释放至病变部位进行照射,该放射源自发衰变产生 γ 、 β 射线, β 射线的贯穿能力相对较弱,考虑治疗室对 γ 射线屏蔽时, β 射线已被屏蔽,因此本项目主要考虑 γ 射线的屏蔽。

后装治疗机使用的 ^{192}Ir 放射源半年后,需更换放射源,废旧放射源由放射源供货厂家负责回收,并签订购源、回收协议。

9.3.1.4 DSA、ERCP、PET 和 SPECT 配套用 CT 及其他 III 类射线装置污染源项分析

本项目新增 3 台 DSA 和 1 台 ERCP,属于 II 类射线装置, PET 和 SPECT 配套 CT 属于 III 类射线装置,搬迁 CT 等属于 III 类射线装置。由 X 射线装置的工作原理可知, X 射线是随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线,只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此,在开机期间,评价因子主要为 X 射线,同时会产生少了臭氧和氮氧化物。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

(1) 核医学科非正常工况源项

①PET/CT 或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时,人员误入正在运行的射线

装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

(2) 直线加速器非正常工况源项

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

(3) 后装机非正常工况源项

①联锁装置失效的情况下，人员误入正在进行治疗的后装机治疗室；

②安装调试过程中出现卡源事故；

③治疗过程中发生放射源不能回到贮源器；

④设备损坏导致源掉落；

⑤放射源丢失、被盗。

(4) DSA 及 ERCP 及其他III类射线装置非正常工况源项

①机房控制室操作人员或病人家属在防护门关闭后未撤离机房，而射线装置出束时造成的误照射。

②机房门灯联锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的射线装置机房。

表 10 辐射安全与防护

10.1 核医学科项目安全设施

10.1.1 核医学科辐射工作场所布局

本项目核医学科位于医疗综合楼负二层的最北端，东侧为核医学候诊区，隔候诊区为放疗中心；南侧为医生办公室，隔办公室实体墙体紧邻生活水箱和生活水泵房；西侧为负二层地下车库；北侧为土层。无地下层，楼上为药库、总务设备用房，楼上药库南侧为医院食堂，与核医学科边界距离约 12m，不毗邻核医学科，且食堂和核医学科不在同一楼层。

核医学科工作场所由放射性区域和非放射性区域组成，放射性区域主要包括 SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、注射后候检室、运动负荷室、分装注射室、给碘和服碘室、甲测室、甲亢观察室、源库、污物间、留观室、抢救室、患者通道、缓冲间、污洗间等；非放射性区域包括控制室、护士站、诊室、办公室、阅片室等。

核医学科放射性废水经埋地耐腐蚀和防护屏蔽的管道首先收集至核医学科东侧和西侧的集水井，经提升泵提升至地面埋地式衰变池组，衰变池组设置在医疗综合楼北侧，位于医院地下室外围，绿化带埋地设置。源库和污物间紧邻分装注射室。分装注射室内手套箱设置单独排风管道，风速不低于 0.5m/s，经离心风机抽至医疗综合楼主楼屋顶实施高空排放，排风井风机端设置活性炭吸附装置，废气经活性炭吸附处理后排放。

核医学科工作场所设置有独立的源库、污物间、分装注射室，且源库、污物间与分装注射室邻近，降低了药物操作和转移过程中可能会出现洒落等情况；工作场所设置有注射后候检室及注射后留观等，且均设有专用卫生间，患者产生的放射性废水均通至衰变池处理；核医学科工作场所周边不邻接产科、儿科、食堂等部门；分装注射室的出口处设置有缓冲间，并设置有去污及淋浴功能；患者通道与医护人员通道完全分离，不交叉，患者单向流动，避免了患者之间交叉影响；放射性药物在上班之前通过患者出口送至源库，避免与患者交叉；各辐射工作场所均采取了辐射防护措施；所有出入口均设有单向门禁系统，非工作人员的引导不能进入，且核医学科出口外为医院室外绿化，避开了人流密集区域，设置合理。本项目核医学科选址和工作场所布局满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学工作场所对于选址、平面布局的要求以及《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）中关于安全操作的要求，核医学科选址和工作场所布局合理。

10.1.2 放射性废水衰变池选址合理性分析

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“源的选址与定位”的规定：

9.3.2.1为具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源选择场址时，应考虑可能影响该源的辐射安全的各种场址特征和可能受到该源影响的场址特征，并应考虑实施场外干预（包括实施应急计划和防护行动）的可行性。

9.3.2.2在确定装置和设施（例如医院和制造厂）内的小型源的位置时，应考虑：

a) 可能影响该源的安全和保安的因素；

b)可能影响该源引起职业照射和公众照射的因素，包括诸如通风、屏蔽、距人员活动区的距离等；

c) 考虑了上述因素后工程设计上的可行性。

据此，国家只对“具有大量放射性物质和可能造成这些放射性物质大量释放的源”应考虑场址特征的规定，对其它源的选址未作明文规定，而医院内的小型源更关注辐射安全防护和工程设计的可行性。本项目在正常运行和事故工况下，均不会造成大量放射性物质释放。因此，本次环评仅针对衰变池的选址在辐射安全防护、工程设计及日常管理可行性进行分析其选址可行性。

根据医院提供的由浙江省现代建筑设计研究院有限公司出具的图纸资料，本项目放射性废水处理设施拟设置在医疗综合楼的北侧，室外绿地地埋设置。放射性废水处理间由300mm混凝土浇筑而成，分为管道间和池体间，并设有防辐射铅门，以便于管道、水泵和池体的维护和维修。池体内放置3个并联衰变池。衰变池上方为绿化，衰变池顶棚采用300mm混凝土防护，可确保辐射防护安全。衰变池设有液位传感器和压力传感器，自动切换废水收集和排放，废水出口设置有自动取样检测系统，并设有阈值报警装置，废水每次排放前均自动取样检测合格后方可排放，同时每个衰变池均设有人工取样口，便于监督检查。衰变池监控系统拟设置在核医学科医生办公室，可实现远程操控和远程监控。放射性废水管道拟采用含铅机制铸铁管并用混凝土包裹进行屏蔽防护。衰变池与核医学科距离较近，放射性废水经提升后排入衰变池，可以最大程度上缩短放射性废水收集管线距离，有利于辐射防护与安全。处理间基坑在工程设施可与医疗综合楼整体基坑一并施工，整体支护，在施工工艺和工程设计上是可行的。另外核医学科放射性污水集水井也同样采取防辐射、防渗及防腐措施，提升泵设置一用一备。

综上所述,本项目放射性废水处理设施设置在医疗综合楼北侧,绿化以下地埋设置,在辐射安全防护、工程设计及日常管理等方面是可行的。

10.1.3 非密封放射性物质工作场所分级、分类和分区管理

(1) 非密封放射性物质工作场所分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)附录C提供的非密封源工作场所放射性核素日等效最大操作量计算方法(日等效最大操作量计算公式为:日等效最大操作量=日最大操作量×毒性组别修正因子/操作方式修正因子),可以计算出各核素的日等效最大操作量。计算得到的各核素的日等效操作量及分级结果见表10.1-1。

表 10.1-1 非密封源工作场所的分级

序号	核素名称	日最大操作量 (Bq)	毒性因子	操作因子	日等效最大操作 (Bq)	工作场所的分级
1	¹⁸ F	7.40×10 ⁹ (用药)	0.01(低毒)	10(很简单的操作)	7.40×10 ⁶	最大日等效操作量合计: 2.13×10 ⁸ Bq, 乙级
		1.48×10 ¹⁰ (备药)	0.01(低毒)	100(源的贮存)	1.48×10 ⁶	
2	^{99m} Tc	1.85×10 ¹⁰	0.01(低毒)	10(很简单的操作)	1.85×10 ⁷	
3	¹³¹ I	1.85×10 ⁹	0.1(中毒)	1(简单的操作)	1.85×10 ⁸	
4	¹³¹ I	1.85×10 ⁶	0.1(中毒)	1(简单的操作)	1.85×10 ⁵	

由上表可知,本项目工作场所日等效最大操作量为 2.13×10⁸Bq,根据 GB18871-2002 非密封源工作场所的分级原则,本项目属于乙级非密封放射性物质工作场所。

(2) 非密封放射性物质工作场所分类

根据《核医学放射防护要求》(GBZ120-2020)对核医学工作场所具体分类办法,本评价项目使用的放射性核素加权活度见表 10.1-2。

表 10.1-2 非密封放射性物质(核素)加权活度

工场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度 (Bq)	放射性核素加权活度 (Bq)	总加权活度 (Bq)	场所分类
源库*	^{99m} Tc	1	100	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁸	2.18×10 ⁹	II类
	¹⁸ F	1	100	1.48×10 ¹⁰	1.48×10 ⁸		
	¹³¹ I	100	100	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁹		
SPECT/CT 机房及候检室	^{99m} Tc	1	10	1.85×10 ¹⁰	1.85×10 ⁹	1.85×10 ⁹	II类
PET/CT 机房及 PET 候检室	¹⁸ F	1	10	7.40×10 ⁹	7.40×10 ⁸	7.40×10 ⁸	II类

分装注射室*	^{99m} Tc	1	1	1.85×10^{10}	1.85×10^{10}	3.33×10^{10}	II类
	¹⁸ F	1	1	1.48×10^{10}	1.48×10^{10}		
留观室	^{99m} Tc	1	10	1.85×10^{10}	1.85×10^9	3.33×10^9	II类
	¹⁸ F	1	10	1.48×10^{10}	1.48×10^9		
给碘、服碘	¹³¹ I	100	1	1.85×10^9	1.85×10^{11}	1.85×10^{11}	I类
甲亢观察室	¹³¹ I	100	1	1.85×10^9	1.85×10^{11}	1.85×10^{11}	I类
甲测室	¹³¹ I	100	10	1.85×10^6	1.85×10^7	1.85×10^7	III类
污物间	^{99m} Tc	1	10	1.85×10^8	1.85×10^7	2.18×10^8	II类
	¹⁸ F	1	10	1.48×10^8	1.48×10^7		
	¹³¹ I	100	10	1.85×10^7	1.85×10^8		

注：加权活度=日操作最大活度×核素毒性权重因子+操作性质修正因子；
*：表示该工作场所是 PET/CT 与 SPECT/CT 显像诊断项目共用。

本项目核医学科工作场所甲亢留观室、给碘室、服碘室属于 I 类工作场所，甲测室属于 III 类工作场所，其余活性区属于 II 类工作场所，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表 10.1-3。

表 10.1-3 按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 ^a	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b 和去污设备	洗手盆 ^b

注^a：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。
注^b：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。

医院应按表 10.1-3 的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

(3) 分区管理

①分区原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求，在辐射工作场所内划出控制区和监督区，在项目运营期间采取分区管理措施。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志，并给出相应的辐射水平和污染水平指示。运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可证）和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但要不断检查其职业照射状况的区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

②控制区和监督区划分情况

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，项目建设单位应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

- a、控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；
- b、制定职业防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；
- c、运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）

限制进出控制区；

- d、在更衣室备有个人防护用品、工作服、污染监测仪和被污染防护衣具的贮存柜；

e、定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

B、监督区防护手段与安全措施

- a、以黄线警示监督区的边界；
- b、在监督区入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；
- c、定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

本项目核医学工作场所的控制区和监督区划分情况见附图 5。

表 10.1-4 本项目核医学科控制区和监督区划分情况

场所	控制区	监督区
核医学科	SPECT/CT 机房、PET/CT 机房、SPECT/CT 候检室（内设患者专用卫生间）、PET/CT 候检室（内设患者专用卫生间）、运动负荷室、分装注射室、源库、污物间、留观室（内设患者专用卫生间）、	控制室、缓冲间、设备间、护士站、候诊区、医护走廊、患者出口楼梯间、风机房、库房、弱电间

给碘室、服碘室、甲测室、抢救室、患者走廊、
污洗间、衰变池

10.1.4 辐射工作场所屏蔽设计

(1) 辐射工作场所屏蔽设计

根据医院提供的由浙江省现代建筑设计研究院有限公司出具的图纸资料,本项目核医学学科辐射防护屏蔽设计参数表见表 10.1-5。

表 10.1-5 辐射工作场所屏蔽设计方案

工作场所	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	观察窗	6mmPb 铅玻璃
	工作人员防护门	内衬 6mm 铅板
	患者防护门	内衬 6mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
PET/CT 机房	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	观察窗	8mmPb 铅玻璃
	工作人员防护门	内衬 8mm 铅板
	患者防护门	内衬 8mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
分装注射室	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
	¹⁸ F 注射窗	20mmPb 铅玻璃
	^{99m} Tc 注射窗	10mmPb 铅玻璃
给碘、服碘室	西侧及北侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	东侧、南侧墙体	300mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	给药窗	6mmPb 铅玻璃
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
甲亢观察室	南侧、西侧及北侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	东侧墙体	300mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 8mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
运动负荷室	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 4mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
源库	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
污物间	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板

	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
SPECT/CT 候检室	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
PET 候检室 (2 间)	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 10mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
抢救室	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
留观室	东侧、南侧、北侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	西侧墙体	300mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 6mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
缓冲间	四侧墙体	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 4mm 板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
甲测室	四侧墙体	240mm 实心砖
	防护门	内衬 2mm 铅板
	顶棚	200mm 现浇混凝土+50mm 混凝土垫层
患者走廊	患者出入口防护门 (3 扇)	内衬 8mm 铅板
注：混凝土密度取 2.35g/cm ³ ，实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ ，硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm ³ 。墙体防护涂料采取两面涂刷工艺，每面各 20mm。顶棚防护涂料涂刷在顶棚上层。		

基于远期核医学科退役后利于场所功能及布局调整，核医学科各功能用房四侧墙体拟采用实心砖墙+防护涂料进行屏蔽防护。采用以上形式的防护措施，即做到选材最优亦能够保证满足屏蔽防护性能的需求和空间利用需求。

本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 属 III 类射线装置，其机房有效使用面积及屏蔽设计满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

表 10.1-6 射线装置机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		符合性评价
	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	最小单边长度 (m)	有效使用面积 (m ²)	
SPECT/CT 机房	6.0	41.2	4.5	30	符合
PET/CT 机	6.0	42.0	4.5	30	符合

表 10.1-7 射线装置机房屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量 (mmPb)	标准要求 (mmPb)	是否符合要求
SPECT/CT 机房	四侧墙体	240mm 混凝土实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	4	有用线束及非有用线束方向	是

	观察窗	6mmPb 铅玻璃	6	铅当量均为 2.5mmPb	是
	工作人员防护门	内衬 6mm 铅板	6		是
	患者防护门	内衬 6mm 铅板	6		是
	顶棚	250mm 混凝土	3		是
	PET/CT 机房	240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料	4		是
PET/CT 机房	观察窗	8mmPb 铅玻璃	8		是
	工作人员防护门	内衬 8mm 铅板	8		是
	患者防护门	内衬 8mm 铅板	8		是
	顶棚	250mm 混凝土	3		是

注：混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中式（C.1）、式（C.2）及表 C.2，得顶棚 250mm 混凝土（主束方向）折算为 3.0mmPb 当量。由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供混凝土实心砖在 140kV 在非有用线束方向上的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算，故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，混凝土实心砖密度为 2.35g/cm³，保守按密度 1.65 g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，240mm 混凝土实心砖折算为 2mmPb；硫酸钡防护涂料密度不低 3.8g/cm³，保守按 20mm 硫酸钡折算 1mmPb。

10.1.5 核医学科辐射安全和防护、环保相关设施

1、辐射安全措施

①PET/CT机房和SPECT/CT机房防护门上方安装工作状态指示灯，并设置门灯联锁装置，机房与控制室之间拟设置对讲装置与监视器。服碘室和控制室直接拟设置对讲装置与视频监控，以对辐射工作场所的情况进行实时监控。

②在PET/CT机房防护门、SPECT/CT机房防护门、服碘室防护门、甲测室防护门、候检室防护门、分装注射室防护门、源库防护门、污物间防护门、手套箱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；核医学科实行“两区”管理，监督区和控制区入口设置明显的监督区和控制区标识。

③核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。在PET/CT、SPECT/CT 控制室内拟设有监视和对讲系统；在PET/CT 机房、SPECT/CT机房、服碘室、给碘室、SPECT候检室、PET候检室、留观室、注射窗口、病人走廊处等拟设有监控系统，监控显示屏拟设置在控制室内，以便于控制室工作人员及时掌握病人状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理。

④医院 ¹³¹I拟采用自动分碘仪，置于给碘室内，在控制室对服药病人进行隔室指导服药，对 ¹³¹I的自动分装、给药、服药等全过程采取监控措施；¹⁸F和 ^{99m}Tc核素操作在

独立的手套箱内进行，手套箱材质主要为铅板，正面为铅玻璃，综合防护当量分别不低于 40mmPb，手套箱通风速率不小于 0.5m/s，设独立排风管道；且工作人员穿戴相应的防护用品。

⑤注射后候检室及留观室设置患者专用厕所，分装注射室缓冲间设有淋浴和去污设施，放射废水直接流向衰变池。给药后受检者在各自给药后候检室内进行候诊，严禁串门，SPECT候检室和PET候检室设置移动铅屏风，以防止患者之间相互照射影响，严禁患者在通道内穿行，以避免与其他受检者之间的交叉照射；受检者的排泄、呕吐物等均由受检者专用厕所排放至衰变池内。

⑥缓冲间和注射后候检室、留观室的卫生间洗手台均设置为感应式水龙头，受检者专用卫生间的便池拟设为感应式节水座便马桶。

⑦源库保险柜拟实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

⑧射线装置运行过程中，X射线与空气作用会产生少量臭氧、氮氧化物等有害气体，SPECT和PET机房应设置动力排风装置，并保持良好的通风。

⑨防护设备与防护用品

根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中个人防护用品的配置要求，结合本项目的情况，建设单位拟配置的个人防护用品见表 10.1-8。

表 10.1-8 核医学科工作场所拟配置的个人防护用品表

序号	种类名称	设置场	数量	铅当量
1	手套箱	分装注射室	1 台	40mmPb
2	自动分碘仪	给碘室	1 台	20mmPb
3	衰变箱	污物间	1 个	4mmPb
4	脚踏式铅桶	分装注射室、SPECT/CT候检室、PET候检室（2间）、留观室、服碘室、甲亢观察室	9 个	10mmPb
5	注射器防护套	分装注射室	2 个	^{99m} Tc 为 4mmPb 防护套、 ¹⁸ F 为 10mmPb 防护套
6	自动分装仪	分装注射室	2 个	/
7	注射窗口	分装注射室	2 个	^{99m} Tc 注射位为 10mmPb 铅玻璃、 ¹⁸ F 注射位为 40mmPb 铅玻璃
8	铅提盒	分装注射室	1 个	4mmP

9	应急及去污用品	缓冲间	1 套	/
10	SPECT/CT 机房移动式铅屏风	SPECT/CT 机房	1 个	2mmPb
11	PET/CT 机房移动式铅屏风	PET/CT 机房	1 个	10mmPb
12	移动式铅屏风	SPECT/CT 候检室	2 个	2mmPb
13	移动式铅屏风	PET 候检室	1 个	10mmPb
14	铅橡胶性腺防护围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	SPECT/CT 机房 PET/CT 机房	2 套	0.5mmPb
15	铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	缓冲间	2 套	0.5mmPb
16	放射性污染防护服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	缓冲间	按需购买	/

表 10.1-9 核医学科拟配置的监测仪器一览表

名称	量程参数	数量（台/套）
α/β 表面污染仪	α : 0~9999cps, 0.03~10 ⁴ Bq/cm ² β : 0~9999cps, 0.3~10 ⁴ Bq/cm ²	1
便携式 X- γ 射线巡测仪	剂量当量率: 0.01 μ Sv/h~300 mSv/h	1
活度计	0~250GBq(6Ci)	2
个人剂量报警仪	剂量当量率: Hp(10)0.1 μ Sv/h - 99.99mSv/h	2

本项目核医学科运行期间主要污染物为 X- γ 射线、 β 表面污染等，根据项目特点，医院拟配置 α/β 表面污染仪、便携式 X- γ 射线巡测仪，项目配备的监测仪器符合《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》对监测仪器的配置要求。

2、源库的辐射安全措施

①核医学科使用的放射性药物（¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I）应向厂商按需订购，生产厂商根据医院前一天预定量，按时定量将放射性药物送达核医学科源库，使用时工作人员从源库内拿出，连同铅罐包装放置于手套箱内，¹³¹I 铅罐则直接安装于分碘仪。

②源库应防火、防盗（保险柜、防盗门、双人双锁、房间内设置视频监控并入科室和 110 监控系统、门口设置红外报警系统和电离辐射标志）。

③应建立放射性药物的出入库登记制度，贮存、领取、使用放射药物时，应当进行登记、检查，做到账物相符。

④应定期检查放射性药物的实际库存数量及贮存场所。

⑤源库内设施和措施应满足“六防”的防护要求。

3、放射性表面污染控制

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，医院应做到以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，须在有负压的手套箱内进行，防止放射性物质飞散；所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

4、人员防护措施

人员主要指本项目辐射工作人员、受检者/患者及本次评价范围内其他人员。

（1）辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射防护套。PET/CT 机房和 SPECT/CT 机房内设置移动铅屏风。

②时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

④本项目核医学所有辐射工作人员均应配备个人剂量计并定期送检，开展职业健康监护并建立个人职业健康监护档案。

（2）受检者、其他人员的防护

为减少受检者、其他人员的照射剂量，主要采取屏蔽防护、时间防护和距离防护措施。

①屏蔽防护：将辐射源安置在专用、固定的工作场所内，通过场所的有效实体屏蔽

辐射源产生的有害辐射；为核素操作人员配备铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等个人防护用品，注射器配备注射器防护套。SPECT/CT 候检室椅位之间设置 2mmPb 当量的铅屏风，PET/CT 椅位之间设置 10mmPb 当量的铅屏风，以减少病人间相互照射。

②时间防护：在满足检查要求的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

③距离防护：尽可能增加受检者与射线源的距离，减少受检者的受照剂量。

④辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。工作场所周围设置明显的警示、隔离措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间，增大人员与辐射场所之间的防护距离。

5、操作过程中的防护措施

(1) 放射性药品的操作防护

除注射给药外，其余涉及放射性药物的所有操作均在手套箱内进行，手套箱操作台面要求光滑、平整、易于清洗去污。所有涉及放射性物质操作都必须在铺衬有吸水纸的瓷盘内进行。手套箱底部拟设有 10mmPb 脚踏式铅桶，用于暂时收集放射性废物，装满的收集桶置于污物间。

放射性药物在注射过程中护士要做好个人防护措施，包括穿戴铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜，铅当量均为 0.5mmPb 当量。注射操作台拟采用铅玻璃防护（^{99m}Tc 注射位为 10mmPb 铅玻璃、¹⁸F 注射位为 40mmPb 铅玻璃），并使用注射器防护套。注射操作时，护士（采取相应防护措施）与病人及药物分别位于铅玻璃的两侧。病人注射后进入相应的候检室等候。

(2) 服药和注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，¹⁸F、^{99m}Tc 注射病人及甲亢病人与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在候检室内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密封源工作场所，同时要求病人在注射后观察期内禁止随意走动，观察期间的呕吐物和排泄物要排入候检室内专用厕所，最终排入本项目拟建衰变池。

6、内照射防护措施

操作非密封型放射性药物时，液体洒落、挥发泄漏造成地面、工作台面、操作人员衣服、手套和空气等污染，污染的表面一方面成为外照射的辐射源，一方面通过皮肤渗透、呼吸、进食使放射性物质进入体内形成内照射。

为降低内照射对工作场所内辐射工作人员的影响，本项目要求放射性药物暂存、分装、使用均在手套箱中进行，手套箱通风速率不低于 0.5m/s。分装注射室设有 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 显像药物专用手套箱，可以有效降低高活室内空气中的放射性物质浓度。严格规范辐射工作人员工作和生活习惯，禁止在核医学科场所饮食饮水、化妆等；辐射工作人员定期进行培训，严格按照操作规程操作，尽量避免放射性药物撒漏，并经常用湿法清洁台面、地面及设备表面。严格遵守个人卫生制度和安全操作规程，穿戴个人防护用品，如铅防护衣、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜等，防止放射性核素沾染手和体表。辐射工作人员离开核医学科在淋浴间进行必要的表污监测和污染洗消后才能离开。

10.2 放疗科项目安全设施

10.2.1 工作场所平面布局

本项目放疗科位于医疗综合楼负二层，建设有 1 间加速器机房和 1 间后装机房及配套附属用房。

后装机房和加速器机房并排，机房东侧为负二层停车场，南侧为控制室、水冷机房、候诊区；西侧为安全出口（楼梯间），北侧为土层。加速器顶棚上方为封闭空间，后装机顶棚上方为设备库房，无地下层。

本项目加速器机房（治疗室）与控制室、水冷机房分开设置，加速器机房由治疗室、迷道和防护门组成，且有用线束不向迷路照射和控制室。后装机房与控制室分开设置，机房由治疗室、迷道和防护门组成。机房周围不邻近产科、儿科及商业活动区域，加速器机房和后装机房布局符合《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007)中“治疗装置控制室应与治疗机房分离”的规定及《放射治疗辐射安全与防护要求》(HJ1198-2021)中选址和布局要求，布局基本合理。加速器机房辐射工作场所位置及四周布局见表 10.2-1。

表 10.2-1 加速器机房所在位置及四周布局一览表

辐射场所	位置	东	南	西	北	上	下
加速器机房	医疗综合楼负二层	负二层停车场	控制室和水冷机房	后装机房	土层	封闭空间	土层
后装机机房		直线加速器机房	控制室	楼梯间	土层	设备库房	土层

10.2.2 辐射工作场所分区

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，辐射工作场所可分为控制区、监督区。控制区是指需要和可能需要专门防护手段或安全措施

区域；监督区是指通常不需要专门的防护手段或安全措施，但需要经常对职业照射条件进行监督和评价的区域。结合本项目特点，放疗科工作场所控制区和监督区划分如下：

表 10.2-2 放疗科工作场所分区表

工作场所	控制区	监督区
直线加速器	加速器治疗室及迷道	控制室、水冷机房、准备间
后装机	后装机房内及迷道	控制室、准备区、合用室

放疗科两区划分详见图 10.2-1。

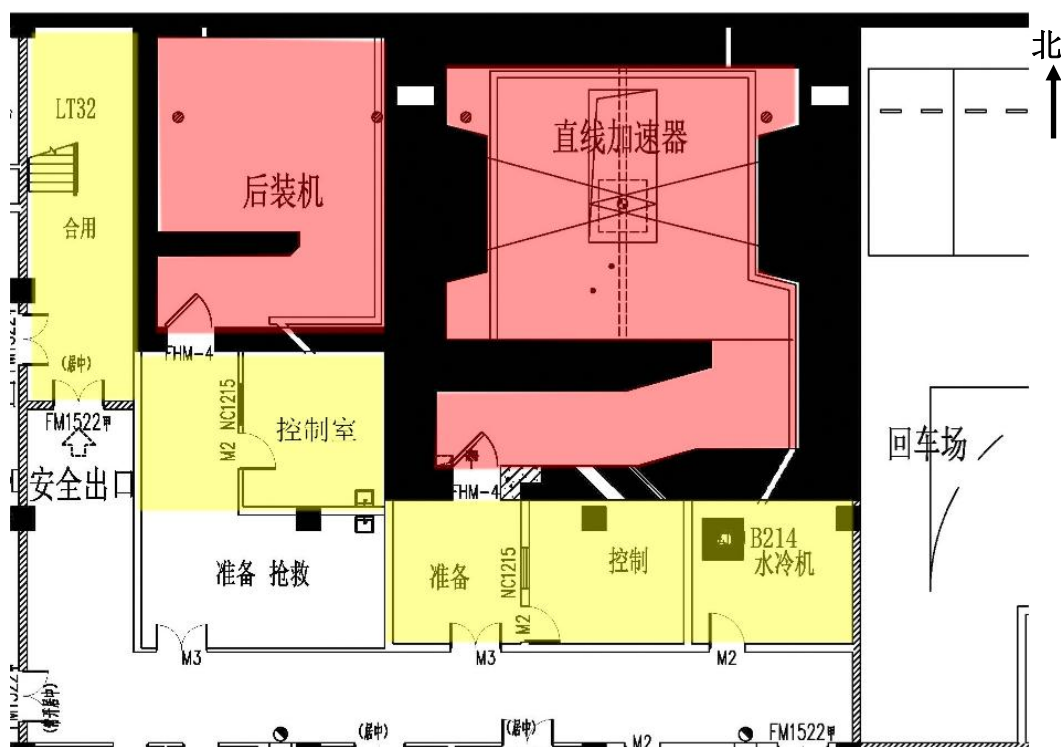
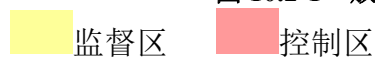


图 10.2-1 放疗科后装机和直线加速器“两区划分”图



10.2.3 放疗科工作场所防护屏蔽设计

本项目加速器机房和后装机四侧墙体、顶棚拟采用标准混凝土 ($\rho=2.35\text{g/cm}^3$) 浇筑而成，加速器防护门拟采用含硼聚乙烯+铅板制成，后装机拟采用铅板制成。放疗科机房平面布局详见图 10.2-2，剖面图详见图 10.2-3 和 10.2-4。

表 10.2-3 加速器机房屏蔽设计参数

机房名称	方	区域	照射线束	材料及厚度	宽度
直线加速器机房	东墙	主屏蔽区	有用线束	3000mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽墙	非有用线束	1800mm 混凝土	/
	南墙 (迷道)	迷道内墙	非有用线束	800~1500mm 混凝土	/
		迷道外墙		1000~1500mm 混凝土	/

	墙)				
	西墙	主屏蔽墙	有用线束	3000mm 混凝土	/
		次屏蔽墙	非有用线束	1800mm 混凝土	4000mm
	北墙	侧屏蔽墙	非有用线束	1600mm 混凝土	/
	顶棚	主屏蔽墙	有用线束	3000 mm 混凝土	4000mm
		次屏蔽墙	非有用线束	1600 mm 混凝土	/
防护门			15mm 铅+120mm 含硼聚乙烯板	/	
后装机房	东墙 (与加速器共用)		有用线束	1800mm 混凝土	/
	南墙	迷道内墙	有用线束	700mm 混凝土	/
		迷道外墙	有用线束	700mm 混凝土	/
	西墙		有用线束	700mm 混凝土	/
	北墙		有用线束	700mm 混凝土	/
	顶棚		有用线束	800 mm 混凝土	/
	防护门			10mm 铅	/

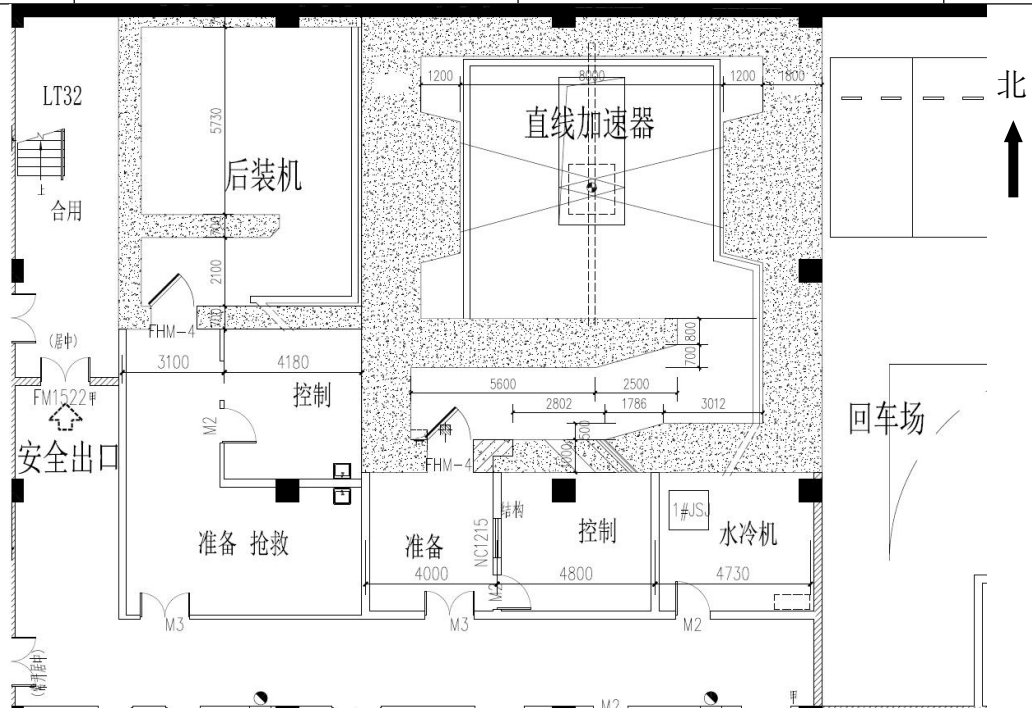


图 10.2-2 放疗科机房平面布局图 (单位: mm)

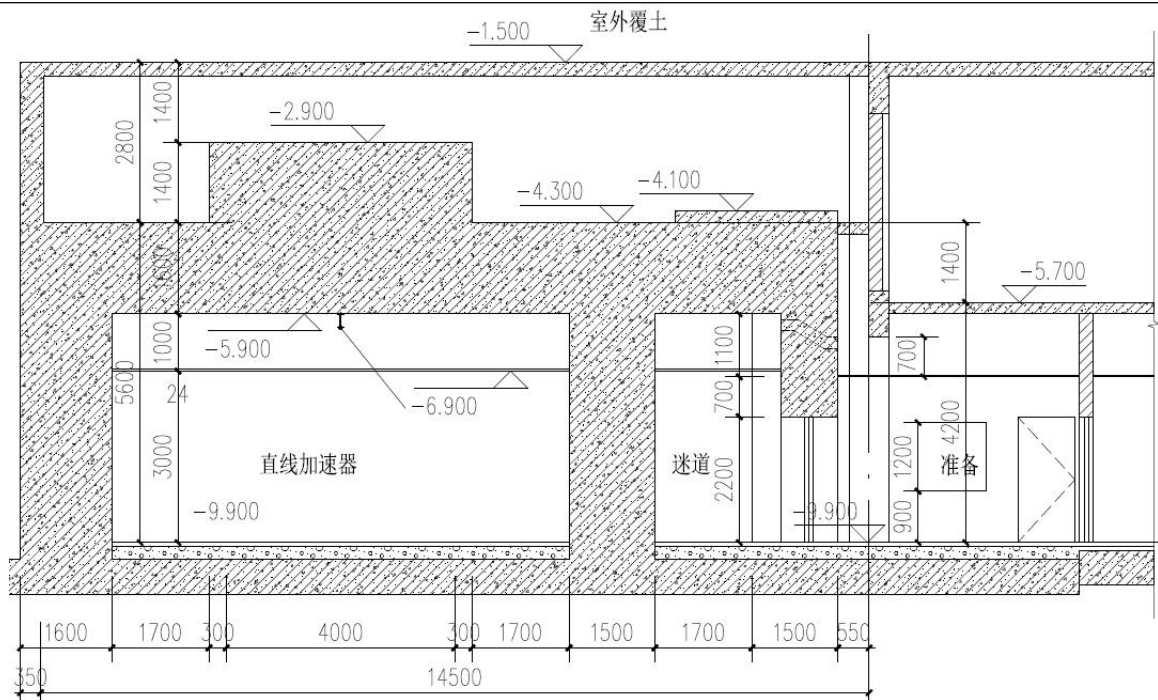


图 10.2-3 直线加速器剖面图 (单位: mm)

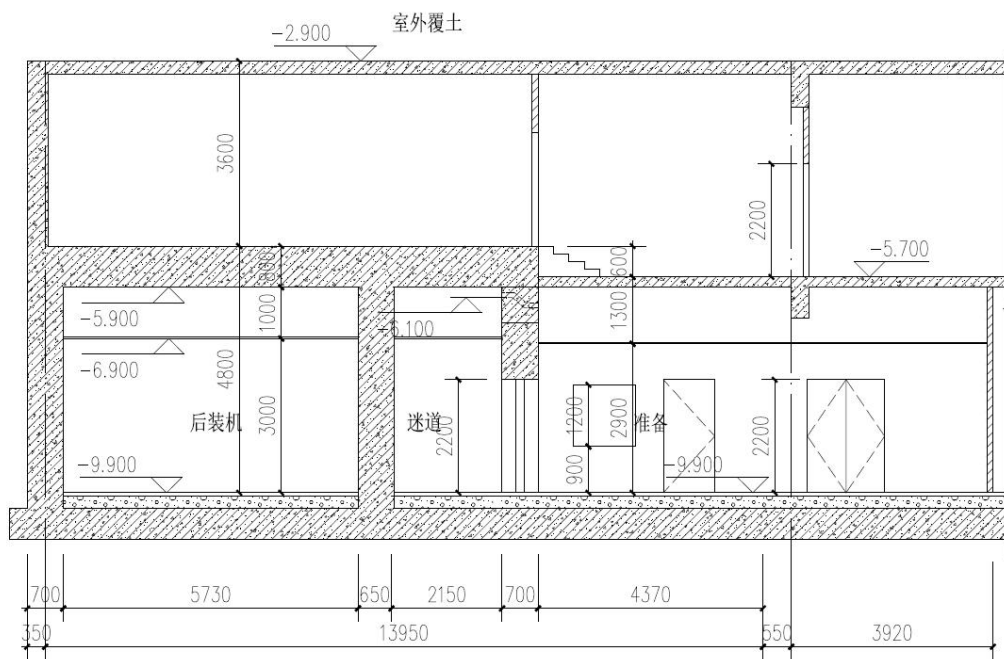


图 10.2-4 后装机房剖面图 (单位: mm)

10.2.4 直线加速器安全防护措施

(1) 设备固有安全性

本项目直线加速器拟购于正规厂家,采用目前较先进的技术,设备各项安全措施齐备,本身具备多种安全防护措施。

①控制台上的显示装置可显示辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方

式等参数，操作人员可以随时了解设备运行情况。

②病人剂量监测与治疗控制安全联锁。为保证病人治疗剂量准确，不致出现超剂量照射，系统设置了治疗剂量联锁、治疗时间联锁和治疗中旋转机架角度联锁。当治疗剂量、时间及治疗机头旋转角度其中之一到达设定值时，联锁装置会自动停止照射。

③运动使能开关。为防止工作人员误操作造成事故，在手控盒两侧设置了运动使能开关，只有当左右两侧的开关同时按下时才有可能对机器运动部件进行起停和控制。

④红色紧急开关。当发现异常后，按下操作盒上此开关，机器将自动切断加速器主电源。

⑤剂量测试系统。在控制系统主菜单中有“剂量系统测试”部分，可以随时了解病人剂量情况。

⑥密码设置。设置有密码，操作密码只有具体操作人员掌握，只有输入正确的密码后才可能进行操作和参数的修改等。

⑦系统操作联锁。加速器设置了硬件联锁，在非正常操作或在异常情况下，可以停止机器运行或切断电源，以备特殊情况下应急之用。系统操作联锁情况见下表 10.2-4。

表 10.2-4 加速器硬件联锁一览表

名称	装置部位	功能	备注
紧急开关	主机架、治疗床及控制台	紧急切断系统控制电源	意外情况下可以切断控制电源
碰撞保护环	附件盘、影子盘	发生碰撞时停止机械部件运动	发生碰撞时自动停止机器运动
运动部件二级限位开关	旋转机架、治疗床升降、辐射头旋转	二级限位开关，切断动力电源	异常情况切断动力电源

(2) 加速器机房辐射防护设施设计

①固定式剂量报警装置：加速器机房内迷路转角处设置固定式剂量报警装置，仪表指示装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

②视频监视系统、对讲系统：加速器机房的控制室和治疗室之间安装有监视器 6 个（防护门迷道内 2 个、北侧墙体 2 个、东西墙各 1 个）、对讲装置 1 套，控制室内能通过视频监视治疗室内患者的治疗情况，并通过对讲系统与室内人员联系，以便于医师在控制室观察患者在治疗室的状况、及时处理意外情况。视频监控数量和位置能实时、

全方位观察治疗室及迷道内状况，可以保障治疗室内及迷道不留视频监控死角，因此视频监控布局数量及位置可行。

③急停开关：医院拟在直线加速器治疗室内设置多个急停开关，急停开关为红色按钮式开关，高度约 1.2m，易于辨认，人员可以在事故情况下按下急停开关，按下后不能自动复位。急停开关设置满足应急需求，布置位置和数量合理可行。

④设置门机安全联锁和工作状态指示灯，防护门未完全关闭时不能出束，出束状态下开门停止出束。装置启动时工作状态指示灯亮起，停止照射时，工作状态指示灯熄灭。防护门为电动平开门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设防挤压装置，防止人员被夹伤。另外防护门内侧设开门装置，在紧急情况下，能从机房内开门。

⑤加速器机房入口处设置电离警示标识和中文警示说明。

直线加速器机房内安全防护设施分布如图 10.2-5 所示。

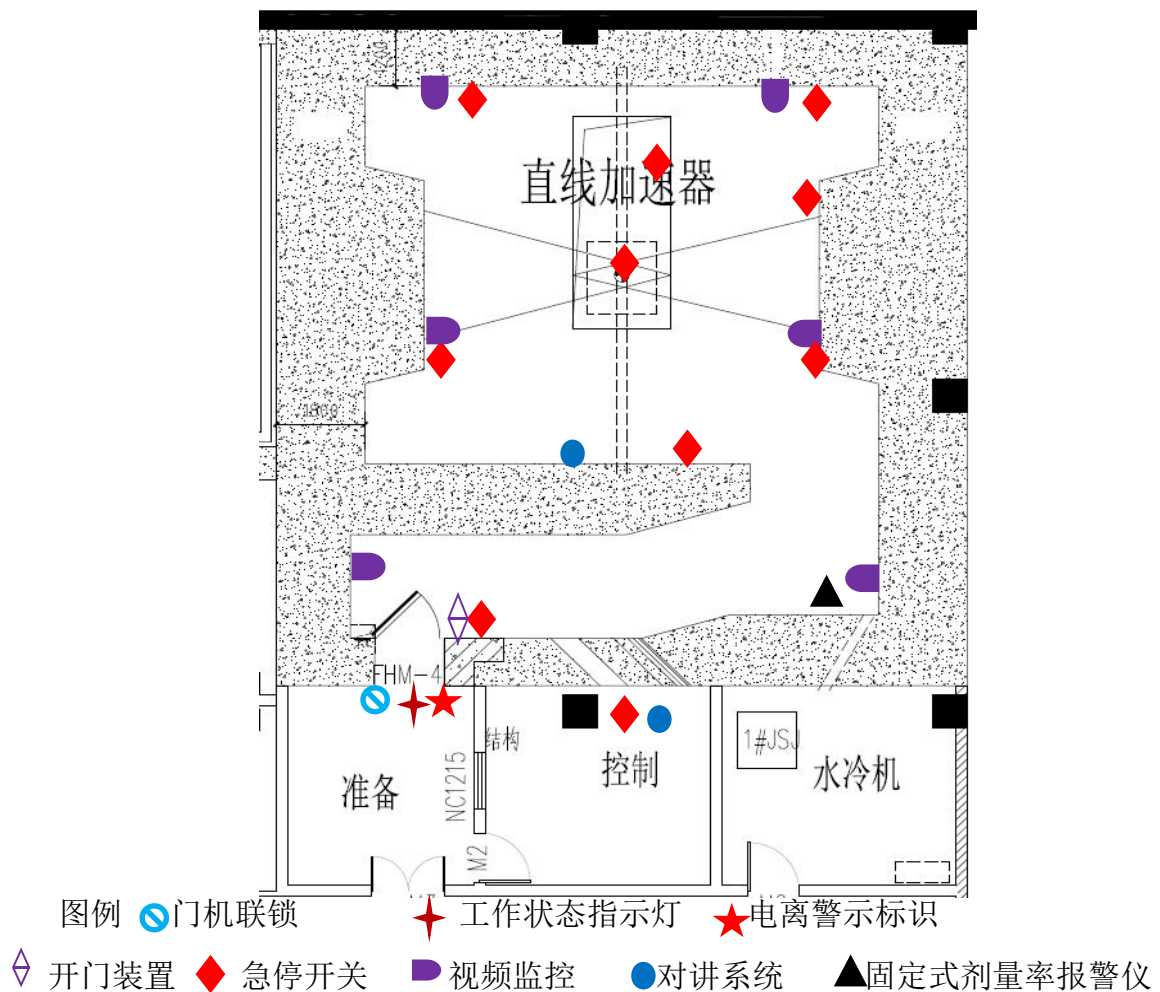


图 10.2-5 加速器安全联锁设施示意图

(3) 其他防护措施

①每个辐射工作人员均配备 1 枚 TLD 个人剂量计；本项目直线加速器工作人员共需配备 2 台个人剂量报警仪和 6 枚 TLD 个人剂量计；

②配备 1 台便携式 X- γ 剂量率监测仪，配备 1 套固定式剂量报警仪；

③操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

④受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

(4) 加速器机房通风、电缆管线设置

①通风

直线加速器运行过程中，治疗室空气中会产生一定的臭氧和氮氧化物。据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）要求，治疗室的通风换气次数应不小于 4 次/小时。本项目加速器治疗室拟安装有效通风量不小于 3000m³/h 的风机进行通风，通风换气次数不小于 10 次/h。为避免影响屏蔽效果，新风管和排风管道拟由防护门上方外墙进入机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置；排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，从控制室迷道外墙防护门上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿墙。加速器机房内的排风由风机引至医疗综合楼主楼楼顶排放。

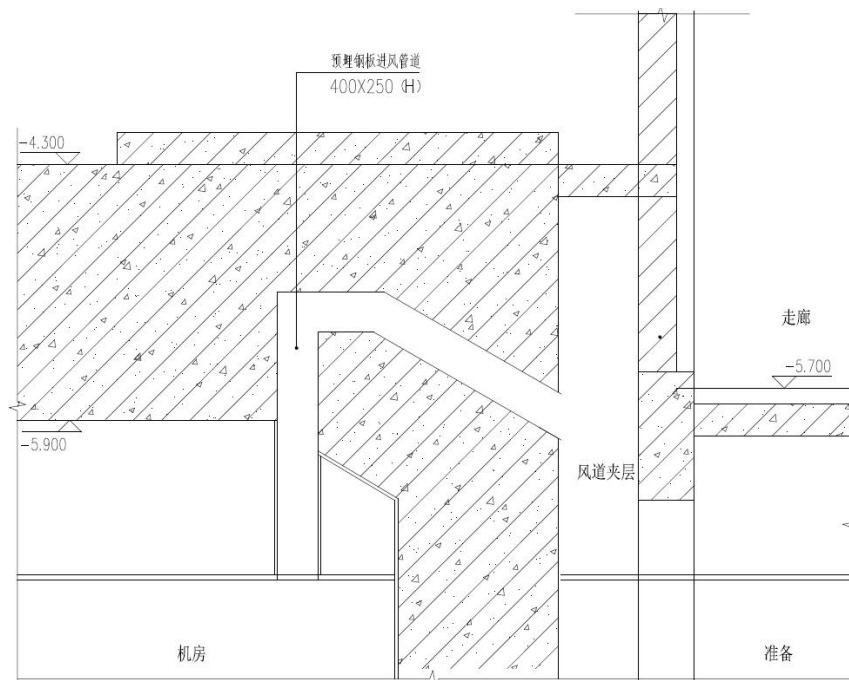


图 10.2-6 加速器机房通排风管线穿墙示意图

②电缆及水管敷设

加速器治疗室与控制室操作台之间的各种电缆管线，室内部分以地沟形式在地坪以下敷设，采用“U”型路径设计，电缆沟盖板采用4mm厚铅板覆盖，从而保证不减弱屏蔽墙体的屏蔽效果。其他所有电、水、气管、物理测试管线敷设走向必须符合辐射屏蔽防护要求，并在非主束投照部位采用迷道形式穿越墙体或顶盖，如在防护墙体部位设置开关箱等嵌入式电气设备，要在箱体后背衬填相应厚度的铅板。电缆管线以“U”字型穿过迷路外墙，管道穿墙方式下图所示。

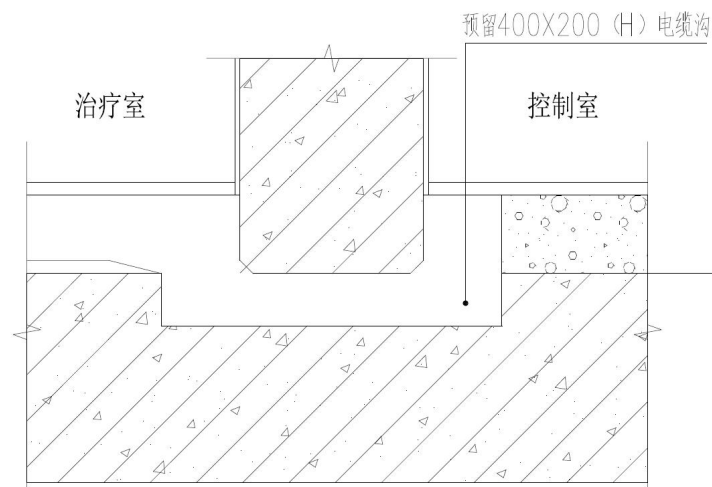


图 10.2-7 加速器机房电缆穿墙示意图

10.2.5 后装机机房辐射安全防护措施

(1) 设备固有安全设施

①后装治疗设备的控制系统，必须能准确地控制照射条件，有放射源起动、传输、驻留及返回工作贮源器的源位显示与治疗日期、通道、照射总时间及倒计时时间的显示。

②后装治疗设备控制系统有安全锁等多重保护和联锁装置。必须能防止由于计时器控制、放射源传输系统失效，源通道或控制程序错误以及放射源连接脱落等电气、机械发生故障或发生误操作的条件下造成对患者的误照射。严禁在去掉保护与联锁控制装置的情况下运行。

③实施治疗期间，当发生停电、卡源或意外中断照射时，放射源必须能自动返回工作贮源器。必须同时显示和记录已照射的时间和剂量，直到下一次照射开始，同时发出声光报警信号。当自动回源装置功能失效时，必须有手动回源措施进行应急处理。

④在控制台上，必须能通过 γ 射线监测仪器显示放射源由工作贮源器内输出和返回贮存位置的状态。控制照射时间的计时误差必须小于1%。

⑤必须在生产厂家给出的放射源最大安全传输次数内，不发生放射源脱落、卡源等故障。放射治疗机随机文件中必须给出放射源从贮源器到施源器的最大传输时间。

(2) 后装机房安全设施设计

①后装机房治疗室与控制室分开设置，治疗室有效使用面积为 38.4m²，满足设备空间使用要求。

②后装机机房入口采用迷路设计，设置门源联锁，机房防护门上方设置工作状态指示灯。治疗室内应设置放射源迅速返回贮源器的应急开关与放射源监测器。

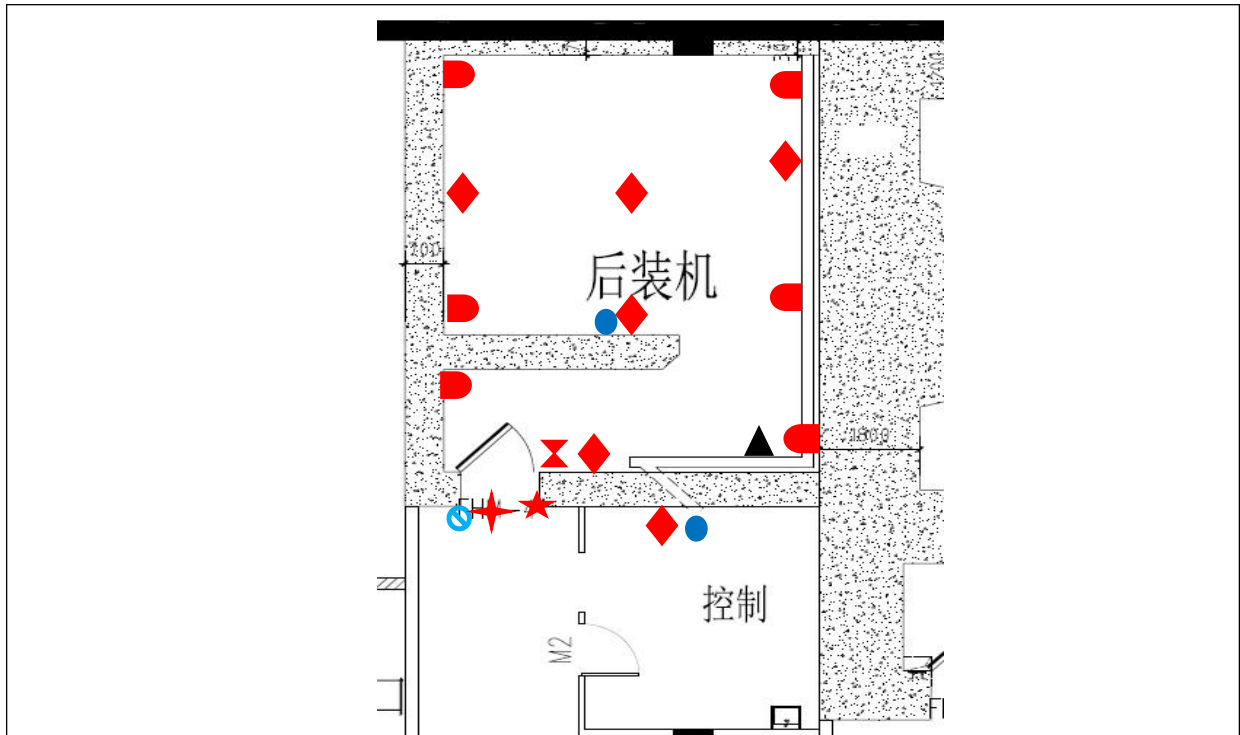
③后装机治疗室内安装视频监控与对讲系统，能完全观察和联系治疗室。工作人员在控制室内便可清晰的观察到患者的治疗情况，如发现患者不适、位置移动、部件脱落、机架与治疗床发生碰撞等异常情况，可及时采取紧急措施。治疗室与控制室须设置对讲装置，便于医护人员与患者进行双向交流。

④后装机治疗室设置 6 个急停开关，分别安装在后装机设备表面、控制台、迷道内墙上。紧急停机开关为红色按钮式开关，并带有中文标示，易于辨认，按下后不能自动复位。在紧急情况下，便于机房和控制室内人员及时终止照射。

⑤后装机机房内配备应急储源器。

⑥后装机机房迷道转角处设置 1 个固定式剂量率监测报警装置；仪表指示装在控制室内。对监测点进行实时剂量率监测和报警。实时剂量率、累积剂量监测值同时显示在主机面板上，实时剂量率、累积剂量的“报警阈值”可通过面板上的按键进行修改。仪器有声光报警，以警示现场工作人员，确保工作人员安全。

⑦设置门机联锁和工作状态指示灯，防护门未完全关闭时不能出源照射，出源状态下开门则放射源回到治疗设备的安全位置。后装出源状态下，工作状态指示灯亮起，源回到设备安全位置则灯灭。防护门设置电离警示标识，门口外 1m 处设置黄色警戒线，禁止无关人员靠近。



- ◆急停开关 ●视频监控 Ⓞ门机联锁 ★工作状态指示灯
 ★电离辐射警示标识 ▲固定式剂量监测报警仪 ●对讲装置 ✕开门装置

图 10.2-8 后装机房紧急开关、监视系统安全设施等分布示意图

(3) 电缆、通风管线布设

后装机采用耐辐射电缆，治疗室内电缆以地沟形式设在地坪以下，电缆沟穿越防护墙采用“U”型穿越南侧墙体，并采用 4mm 铅板进行防护补偿。

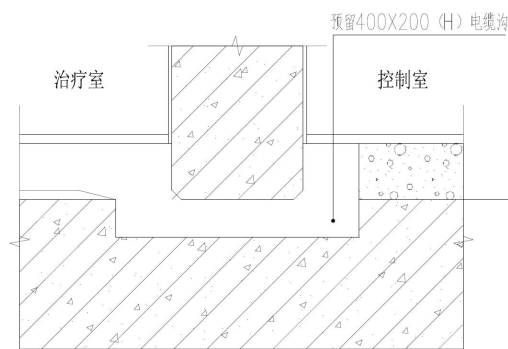


图 10.2-9 后装机电缆沟穿墙示意图

后装治疗室采用机械通风，在防护门上方墙体设置进排风管道，穿墙方式采用“Z”型设计，不削弱机房的防护屏蔽能力。机房设置 1 个进风口，进风口位于机房顶部，设置 1 个排风口，位于机房底部，距地 30cm 处，与进风口形成对角设置，通风换气次数不低于 4 次/h，抽排风可达到有效通风效果。预埋管的管道必须跟混凝土浇筑同时进行，

一次到位。

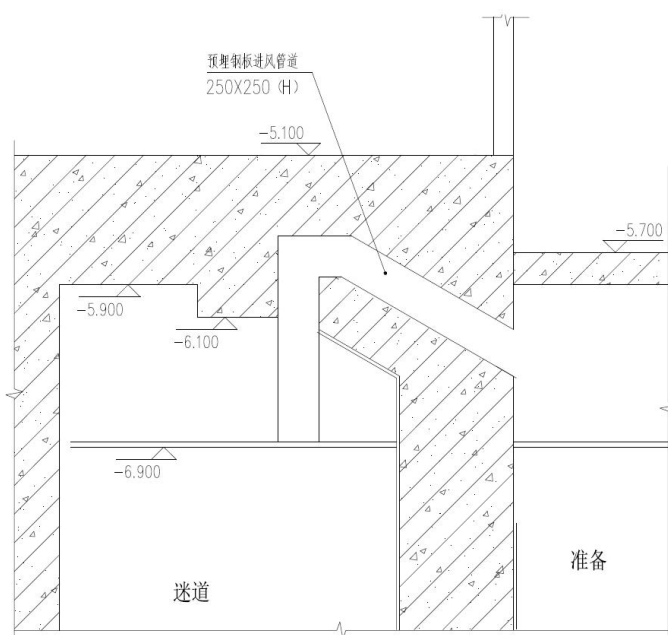


图 10.2-10 后装机房通排风管线穿墙示意图

(4) 安全操作要求

①治疗师根据临床检查结果，制订治疗计划，由患者所患疾病的性质、部位和大小来确定照射剂量和照射时间。

②治疗室内安装了剂量监测设备、剂量报警设备，能够在控制室随时监控剂量监测值和超剂量报警情况。

③操作人员必须遵守各项操作规程，认真检查安全联锁，禁止任意去除安全联锁，在防护门未关闭时，放射源不能出来。迷道内设置紧急停机、开门按钮。安装手动应急开门装置，以备停电时使用。

④新购放射源必须有生产厂家提供的说明书及检验证书。说明书载明了放射源编号、核素名称、化学符号、等效活度、表面污染与泄漏检测日期和生产单位名称等。放射源使用前必须有法定计量机构认可的参考点空气比释动能率，其总不确定度不大于±5%。

⑤设备安装后使用前，必须要求设备供货商提供满足标准要求的设备表面剂量监测报告。

⑥加强放射工作人员的培训，并佩带个人剂量计，进出治疗室佩带报警仪，做好放射源的监控与防盗。

⑦倒源、换源由专业技术人员进行，并加强其过程中的保卫。换源时必须遵循放射防护的操作章程，在有关剂量监护下操作，经过充分准备，周密部署。退役放射源必须立即退还原生产厂家，并办理相关的环保手续。需要临时暂存的废源铅罐，放置在后装机治疗室内的保险柜中。对于放射源、废源做好监控、防盗措施。

⑧治疗室机房内不得堆放与诊疗无关的杂物。

(5) 其他防护措施

①防护门为电动平开门，防护门与墙搭接处应尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽于门洞的部分应大于“门-墙”间隙的十倍。防护门设防挤压装置，防止人员被夹伤。另外迷道入口内侧防护门设开门装置，紧急情况下能从机房内侧开门。

②每个辐射工作人员均配备1枚TLD个人剂量剂量计；本项目后装机工作人员共需配备1台个人剂量报警仪和4枚TLD个人剂量计。

③配备1台便携式X-γ剂量率监测仪（放疗科共用1台），配备1套固定式剂量报警仪；

④操作室上张贴相应的辐射工作制度、操作规程、岗位职责等；

⑤治疗室内配应急贮源容器和长柄镊子等应急工具。

⑥受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

10.2.6 放疗科辐射安全与防护措施符合性分析

对照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021），本项目机房符合性分析如表 10.2-5 所示。

表 10.2-5 放疗科机房符合性分析表

机房名称	防护要求	本项目分析	符合性
选址与布局	放射治疗场所的选址应充分考虑其对周边环境的辐射影响，不得设置在民居、写字楼和商住两用的建筑物内。	本项目加速器机房和后装机位于医疗综合楼负二层，无地下层，机房位于医院主体建筑内，为医疗用房。	符合
	放射治疗场所宜单独选址、集中建设，或设置在多层建筑物的底层的一端，尽量避免儿科病房、产房等特殊人群及人员密集区域，或人员流动性大的商业活动区域。	本项目加速器机房和后装机位于医疗综合楼负二层，无地下层，周边不邻近儿科、产科、商业等人群密集及特殊人群区域。	符合
分区原则	放射治疗工作场所应分为控制区和监督区。控制区包括加速器大厅、治疗室（含迷路）等场所；与控制区相邻的、不需要采取专门防护手段和安全控制措施，但需要经常对职业照射条件进行监控和评价的区域划定为监督区	项目实行两区划分，将直线加速器治疗室（包括迷路）、后装治疗室包括迷路）划分为控制区；将控制室、水冷机房、合用室、准备等划分监督区	符合
屏蔽	放射治疗室屏蔽设计应按照额定最大能	项目加速器及后装机机房屏蔽	符合

要求	量、最大剂量率、最大工作负荷、最大照射野能条件和参数进行计算，同时应充分考虑所有初、次级辐射对治疗室邻近场所中驻留人员的照射	设计均按最大工况进行防护屏蔽	
	放射治疗室屏蔽材料的选择应考虑其结构性能、防护性能，符合最优化要求。	项目直线加速器和后装机机房均采用普通钢筋混凝土进行一次性浇筑屏蔽。防护门采取铅门，各屏蔽体厚度满足要求。	符合
	管线穿越屏蔽体时应采取不影响其屏蔽效果的方式，并进行屏蔽补偿。应充分考虑防护门与墙的搭接，确保满足屏蔽体外的辐射防护要求。	项目放疗机房通排风管线通过“Z”型穿越墙体，电缆沟均以“U”型电缆沟穿越墙体，不影响机房整体屏蔽效果；防护门与墙的搭接处尽可能减小缝隙漏泄辐射，防护门宽与门洞的部分大于“门-墙”间隙的十倍	符合
	治疗机房墙和入口门外关注点周围剂量当量率参考控制水平应满足 6.1.4 相关要求	加速器机房和后装机机房均采用普通混凝土建设，各侧墙体及防护门外剂量率水平满足参考控制水平	符合
安全防护设施和措施	放射治疗工作场所，应当设置明显的电离辐射警告标志和工作状态指示灯等；控制室应设有在实施治疗过程中能观察患者状态、治疗室和密道区域情况的视频装置，并设置双向交流对讲系统	拟在治疗室口上方等位置安装醒目指示灯，防护门及墙体设置辐射标志；加速器和后装机治疗室内及迷道均设置有视频监控，可以实现机房内全监控，并设置双向对讲装置	符合
	含放射源的放射治疗室、医用电子直线加速器治疗室（一般在迷道的内入口处）应设置固定式辐射剂量监测仪并应有异常情况下报警功能，其显示单元设置在控制室内或机房门附近	拟按要求设置，直线加速器机房和后装机机房迷路入口处均设置固定式剂量监测报警装置。	符合
	放射治疗相关的辐射工作场所，应设置防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全连锁设施。	加速器机房控制台、设备机架上、治疗床、机房墙体内均设置有急停开关；后装机设置紧急回源装置和断电自动回源措施。防护门均设置防夹装置和应急开门装置	符合
	后装治疗室内应配备合适的应急贮源容器和长柄镊子等应急工具	后装机房内拟按要求配置	符合

由表可知，放疗科工作场所选址、屏蔽防护设计及安全设施均满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）标准要求。

10.3 DSA 及 ERCP 项目安全设施

10.3.1 工作场所平面布局

本项目新增 3 台 DSA，位于医疗综合楼四层北区；新增 1 台 ERCP，位于医疗综合楼三层北区。各机房平面布局见附图 12、附图 13，其四周布局见表 10.3-1。

表 10.3-1 各机房位置及四周布局一览表

工作场所	位置	东	南	西	北	上	下
DSA 机房 1	医疗综合楼四层北区	控制室、设备间	污物走廊	污物走廊	洁净走廊	库房、更衣室	细胞实验室
DSA 机房 2		DSA3 机房	污物走廊	控制室	洁净走廊	主任室、库房	细胞实验室
DSA 机房 3		控制室	污物走廊	DSA2 机房	洁净走廊	值班室	分子实验室
ERCP 机房	医疗综合楼三层北区	处置室	内镜机房	控制室	医护走廊	术前恢复区	值班、主任室

本项目 DSA 辐射工作场所相对集中布置，设置有患者通道、医护通道和污物通道，各射线装置经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，对周围辐射环境及人员影响是可以接受的，因此本项目各机房平面布局合理可行。ERCP 机房设置有医护通道、患者通道和污物通道，经过机房实体屏蔽体屏蔽后，屏蔽体外剂量率符合标准要求，ERCP 机房平面布局合理可行。

10.3.2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，本项目 DSA 机房两区划分如下：

将 DSA 机房内部划为控制区；将与机房相邻的控制室、设备间、库房、污物通道、洁净通道划为监督区。

将 ERCP 机房内部划为控制区；将与机房相邻的控制室、防护门外 1m 内、处置室划为监督区。

10.3.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目 DSA 机房和 ERCP 机房设计使用面积及最小单边长详见表 10.3-2，实体屏蔽设计详见表 10.3-3。

表 10.3-2 DSA及ERCP机房设计使用面积与评价一览表

机房名称	使用面积（机房尺寸）	标准要求（最小单边长）	符合性
DSA 机房 1	74.46m ² (7.3m×10.2m)	20m ² (3.5m)	符合
DSA 机房 2	73.0m ² (7.3m×10.0m)		符合
DSA 机房 3	69.35m ² (7.3m×9.5m)		符合
DSA 机房 4	73.5m ² (7.0m×10.5m)		符合
ERCP 机房	37.23m ² (5.1m×7.3m)		符合

表 10.3-3 DSA及ERCP机房屏蔽设防护参数

机房名称	屏蔽体	材料及规格（铅当量：mmPb）	标准要求	是否符合要求
DSA 机房 (3 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+20mm 硫酸钡防护涂料（3.0）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
	顶棚	200mm 现浇混凝土（2.5）		
	地坪	200mm 现浇混凝土（2.5）		
	防护门（污物门、患者防护门、工作人员防护门）	内衬 4mm 铅板（4.0）		
	观察窗	4mmPb 铅玻璃（4.0）		
ERCP 机房 (1 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+20mm 硫酸钡防护涂料（3.0）	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
	顶棚	200mm 现浇混凝土（2.5）		
	地坪	200mm 现浇混凝土（2.5）		
	防护门（工作人员防护门、患者防护门）	内衬 3mm 铅板（3.0）		
	观察窗	3mmPb 铅玻璃（3.0）		
注：混凝土密度取 2.35g/cm ³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）中附录 C 中表 C.5 和表 C.6，得 200mm 混凝土保守按 2.5mmPb。实心砖密度不低于 1.65g/cm ³ ，保守 240mm 实心砖折算 2mmPb。硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm ³ ，参考《放射防护实用手册》，20mm 硫酸钡防护涂料折算 1mmPb。				

由上表可知，本项目射线装置机房有效使用面积和屏蔽防护设计均满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

10.3.4 DSA 及 ERCP 机房安全防护措施

本项目 DSA 和 ERCP 均为 II 类射线装置，主要辐射影响为 X 射线，对 X 射线的基本防护原则是减少照射时间、远离射线源以及加以必要的屏蔽。本项目对 X 射线外照射的防护措施主要有以下几方面。

(1) 设备固有安全防护措施

本项目 DSA 和 ERCP 均拟从正规厂家购买，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备防护性能的技术要求，设备本身采取了多种固有安全防护措施：

- ①设备具有可调限束装置，使装置发射的线束宽度尽量减小，以减少泄漏辐射；
- ②采取栅控技术：在每次脉冲曝光间隔向旋转阳极加一负电压，抵消曝光脉冲的启辉和余辉，起到消除软 X 射线，提高有用射线品质并减少脉冲宽度；
- ③采取光谱过滤技术：在 X 射线管头放置合适的铝过滤板，以消除软 X 射线及减

少二次散射，优化有用 X 射线谱；

④采用脉冲透视技术：在透视图像数字化基础上实现脉冲透视，改善图像清晰度，可减少透视剂量；

⑤采用图像冻结技术：每次透视的最后一帧图像被暂存并保留在监视器上显示，即称之为图像冻结，此技术可缩短总透视时间，达到减少不必要的照射；

⑥本项目 DSA 和 ERCP 透视开关均为常断式，并配有透视限时装置；机房内具有工作人员在不变换操作位置情况下能成功切换透视和摄影功能的控制键。

(2) 工作场所辐射安全防护措施

①门灯连锁：DSA 及 ERCP 机房防护门上方设置醒目的工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句；工作状态指示灯与机房门有效关联。

②急停装置：控制台上、介入手术床旁设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动任一个急停开关，均可停止 X 射线系统出束。

③视频监控和对讲装置：在 DSA 机房及 ERCP 机房与控制室之间安装 1 套视频监控和对讲装置，控制室的工作人员通过对讲机与机房内的手术人员联系，同时可以实时监控机房内情况。

④警告标志：DSA 机房及 ERCP 机房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明。

⑤DSA 机房和 ERCP 机房患者防护门均为电动推拉门，且设有防夹装置，污物门为平开门，设置有自动闭门装置。

⑥受检者不在机房内候诊，候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

(3) 介入手术过程人员防护

①本项目每台 DSA 装置拟配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜各 3 套，防护用品铅当量均为 0.5mmPb，其中铅防护眼镜不低于 0.25mmPb，介入防护手套 3 套，防护用品铅当量为 0.025mmPb。ERCP 配备铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜各 2 套。

②本项目每台 DSA 装置及 ERCP 装置拟配备铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏各 1 件，辅助防护设施具有 0.5mmPb。

③应根据实际情况，每间 DSA 机房和 ERCP 机房配备铅围裙、铅橡胶颈套、铅橡

胶帽子等个人防护用品，其中儿童和成人患者各 1 套，防护用品具有 0.5mmPb。

④在满足诊断要求的前提下，每次使用 DSA 进行诊疗之前，应根据诊疗要求和病人实际情况制定最优化的诊疗方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照射时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

⑤本项目 DSA 辐射工作人员必须配备个人剂量计。建议采用双剂量计检测方法（分别佩戴于铅围裙外锁骨对应的领口位置、铅围裙内躯干上）；全院应配置 1 台环境辐射巡测仪。

（4）其他安全措施

①电缆应以地沟形式在地坪以下部位布设，并在非主射方向以“U”形从地坪下方穿越墙体。

②介入科医护人员等相关辐射工作人员应严格遵守操作规程，避免因使用不当而引起的机器故障。辐射工作人员应参加辐射安全与防护培训，持证上岗。

③DSA 机房及 ERCP 控制室应张贴相应的规章制度、操作规程。

④DSA 机房及 ERCP 机房设置有动力排风装置，保证机房内良好通风。

表 10.3-4 本项目 DSA 机房及 ERCP 机房其他辐射防护措施分析

项目	标准要求	本项目设计方案	是否符合
机房通风	机房应设置动力排风装置并保持良好的通风。	机房设计排风装置，保证排风状况良好。	符合
机房内布局	机房内布局要合理，应避免有线束直接照射门、窗和管线口位置；不得堆放与该设备诊断工作无关的杂物。	机房建设时避免有用线束直接照射管线口；机房内未设置与诊断工无关的设施，保持机房内整洁、不堆放杂物。	符合
警示系统	机房门外应有电离辐射标志、辐射防护注意事项、醒目的工作状态指示灯，灯箱处应设警示语句。	建设单位拟在机房外墙上张贴辐射防护注意事项，机房门外设置电离辐射标志，在机房门上方设置工作状态指示灯、灯箱或灯箱下方设置警示语句。	符合
安全联锁装置	机房门应有闭门装置，且工作状态指示灯和与机房相通的门能有效关联。	机房受检者通道门设联锁装置，保证工作状态指示灯与防护门实现联锁功能。	符合
候诊区	不应在机房内候诊。	机房设有专用的患者候诊区，不在机房内候诊。	符合

10.4 搬迁III类射线装置

10.4.1 工作场所平面布局

本项目搬迁的射线装置主要分布在医疗综合楼一层北区的放射科、三层南区的口腔科和四层北区的手术室。

医疗综合楼一层北区放射科共设有 10 间Ⅲ类射线装置机房，分为两排，北侧和南侧为患者走廊，中间为机房控制廊，东侧为放射科患者候诊大厅，西侧为 MRI 机房和会议室等。楼上为超声中心，楼下为食堂。

口腔全景机和牙片机位于医疗综合楼三层南区口腔科，机房东侧为控制室，南侧和西侧为走廊，北侧为牙科诊室，楼上为输血科的制备室，楼下为妇产科的清洗间和污洗间。

C 臂机房位于医疗综合楼四层北区口手术室，机房东侧和北侧为洁净通道，南侧为其他手术室，西侧为污物通道，楼上为手术库房，楼下为病理科去污区。

10.4.2 辐射工作场所分区

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）等相关标准中对控制区和监督区的定义，将射线装置所在机房划为控制区，而射线装置机房的控制室及与控制区相邻的相关机房、走廊、通道等均划为监督区。

表 10.4-1 搬迁Ⅲ类射线装置“两区”划分一览表

工作场所	控制区	监督区
医疗综合楼一层北区放射科	胃肠机房（1 间）	控制廊、防护门外 1m 内
	钼靶机房（1 间）	控制廊、防护门外 1m 内
	DR 机房（3 间）	控制廊、防护门外 1m 内
	CT 机房（2 间）	控制廊、缓冲间、库房、防护门外 1m 内
医疗综合楼四层北区手术室	手术室（1 间）	洁净走廊、污物走廊
医疗综合楼三层南区放射科	牙科全景机房（1 间）	控制室、防护门外 1m 内

10.4.3 工作场所防护屏蔽设计

本项目搬迁Ⅲ类射线装置包括 2 台 CT 机、1 台胃肠机、1 台钼靶机、3 台 DR、1 台 C 臂机、1 台牙科全景机、1 台牙片机和 1 台车载 DR。各射线装置机房设计使用面积及最小单边长详见表 10.4-2，实体屏蔽设计详见表 10.4-3。

表 10.4-2 各射线装置机房设计使用面积与评价一览表

机房名称	使用面积（机房尺寸）	标准要求（最小单边长）	符合性
胃肠机房（1 间）	25.48m ² (5.2m×4.9m)	20m ² (3.5m)	符合
乳腺钼靶机房（1 间）	19.44m ² (5.4m×3.6m)	10m ² (2.5m)	符合
DR 机房（3 间）	25.48m ² (5.2m×4.9m)	20m ² (3.5m)	符合
CT 机房（2 间）	42.00 m ² (7.5m×5.6m)	30m ² (4.5m)	符合

C 臂机房 (1 间)	16.40m ² (4.66m×3.52m)	20m ² (3.5m)	符合
牙科全景机房 (1 间)	15.66m ² (5.4m×2.9m)	5m ² (2.0m)	符合

表 10.4-3 各射线装置机房屏蔽设防护参数

机房名称	屏蔽体	材料及规格 (铅当量: mmPb)	标准要求	是否符合要求
胃肠机 (1 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)	有用线束方向铅当量为 3mmPb, 非有用线束方向铅当量为 2mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)		
	地坪	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)		
	防护门	内衬 3.5mm 铅板 (3.5)		
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃 (3.5)		
乳腺钼靶机	四周墙体	240mm 实心砖墙 (2.0)	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 1mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土 (2.5)		
	地坪	200mm 混凝土 (2.5)		
	防护门	内衬 3mm 铅板 (3.0)		
	观察窗	3mmPb 铅玻璃 (3.0)		
DR 机房 (3 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+30mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)	有用线束方向铅当量为 3mmPb, 非有用线束方向铅当量为 2mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)		
	地坪	200mm 混凝土+20mm 硫酸钡防护涂料 (3.5)		
	防护门	内衬 3.5mm 铅板 (3.5)		
	观察窗	3.5mmPb 铅玻璃 (3.5)		
CT 机房 (2 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙+35mm 硫酸钡防护涂料 (3.8)	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料 (4.0)		
	地坪	200mm 混凝土+30mm 硫酸钡防护涂料 (4.0)		
	防护门	内衬 4mm 铅板 (4.0)		
	观察窗	4mmPb 铅玻璃 (4.0)		
C 臂机房 (1 间)	四周墙体	轻钢龙骨+2mm 铅板 (2.0)	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土 (2.5)		
	地坪	200mm 混凝土 (2.5)		
	防护门	内衬 2mm 铅板 (2.0)		
	观察窗	2mmPb 铅玻璃 (2.0)		
牙科全景机房 (1 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙 (2.0)	有用线束方向铅当量为 2mmPb, 非有用线束方向	是
	顶棚	200mm 混凝土 (2.5)		
	地坪	200mm 混凝土 (2.5)		

	防护门	内衬 2mm 铅板 (2.0)	铅当量为 1mmPb	
	观察窗	2mmPb 铅玻璃 (2.0)		
牙片机房 (1 间)	四周墙体	240mm 实心砖墙 (2.0)	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 1mmPb	是
	顶棚	200mm 混凝土 (2.5)		
	地坪	200mm 混凝土 (2.5)		
	防护门	内衬 2mm 铅板 (2.0)		
	观察窗	2mmPb 铅玻璃 (2.0)		

注：参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，24cm 实心砖折算为 2mmPb 当量。硫酸钡防护涂料密度不低于 3.8g/cm³，20mm 厚度等效为 1mmPb。混凝土密度为 2.35g/cm³，200mm 厚度等效为 2.5mmPb。

10.4.4 安全防护措施

①机房内布局要合理，避免有用线束直接照射门、窗和管线口位置；项目各射线装置机房屏蔽情况详见表 10.4-3，其防护能力符合相关标准要求。

②各机房操作室上张贴相应的各项规章制度、操作规程。

③射线装置机房门外设电离辐射警告标志，门上方设醒目的工作状态指示灯，灯箱处设警示语句；候诊区设放射防护注意事项告知栏。机房门设有闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。

④所有辐射工作人员必须配备个人剂量计。

⑤各射线装置机房设置动力排风装置，保证机房内良好通风。

⑥在满足诊断要求的前提下，在每次使用射线装置进行诊断之前，根据诊断要求和病人实际情况制定最优化的诊断方案，选择合理可行尽量低的射线照射参数，以及尽量短的曝光时间，减少工作人员和相关公众的受照时间，也避免病人受到额外剂量的照射。

⑦各射线装置机房应配备相应的防护用品与辅助防护设施，其配置要求需按照 GBZ130-2013 的要求进行配制。

表 10.4-4 个人防护用品和辅助防护设施配置要求

场所类型	工作人员		患者和受检者	
	个人防护用品	辅助防护设施	个人防护用品	辅助防护设施
CT、DR、数字肠胃机、乳腺钼靶机等所在机房	—	—	单个机房：铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各 1 件	—
C 臂机房	铅橡胶围裙 铅橡胶帽子、铅橡胶颈套	移动铅防护屏风	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子	—
口腔全景机、	—	—	铅橡胶帽子、大领铅	—

牙片机			橡胶颈套 1 件	
-----	--	--	----------	--

注：“—”表示不需要

⑧ 车载 DR 设有固有屏蔽，主束方向防护当量不低于 3mmPb，非主射方向不低于 2mmPb，车载 DR 工作时，在车辆周围 3m 设立临时控制区，边界设立清晰可见的“禁止进入 X 射线区”警告标牌和电离警告标志。

10.5 “三废”治理措施

10.5.1 核医学科

本项目拟建核医学科使用非密封性同位素过程中会产生放射性固废、放射性废水和放射性废气，医院拟采取以下“三废”治理措施。

(1) 放射性废水

本项目核医学科产生的放射废水包括：工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。

核医学产生的放射性废水首先经管道收集至负二层的集水井中，经一体化提升设备提升至地面地理设置的衰变池组内。集水井四周采用 250mm 混凝土构成，上盖 150mm 厚混凝土，并做防腐防渗处理。

衰变池组设置在医疗综合楼的北侧，绿化以下地理设置。放射性废水处理间由 300mm 混凝土浇筑而成，由池体间和管道间组成，并设有防辐射铅门，以便于管道、池体及水泵等维护和维修。池体间内放置三个相同体积的并联衰变池，每个衰变池容积为 42m³（4m×3.5m×3m，有效容积 32.5m³），并配置人工取样口，方便监管取样检测。衰变池前设置 2 个并联的化粪池（一备一用），经沉淀预处理后在水泵作用下将废水排入衰变池进行衰变。

放射性废水处理系统终端由触摸屏控制器自动控制，如需反控可进入手动界面。控制器可反应系统故障、报警及排放记录等。

①放射性废水收集管线和处理方式

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集至负二层集水井中，经提升设备提升至地面设置的放射性废水处理间的衰变池进行衰变。当衰变后的废水取样检测符合排放标准并经审管部门同意或批准后方可排入医院污水处理系统。核医学废水处理流程示意图见图 10.5-1。

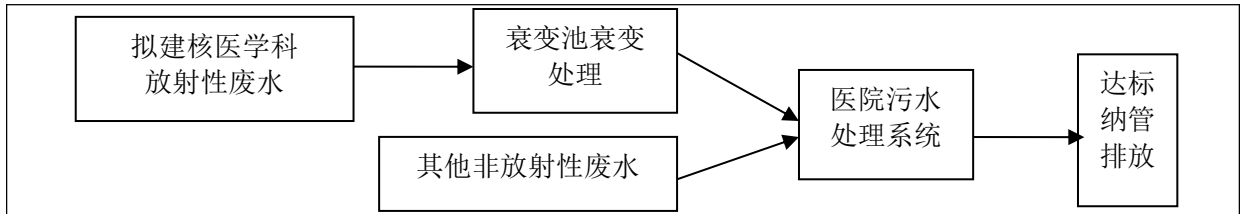


图 10.5-1 拟建核医学科废水处理流程示意图

核医学科放射性废水管道均要求抗酸碱、耐腐蚀并有一定防辐射功能。本项目的放射性废水管道拟采用含铅镀锌钢管并用混凝土包裹进行屏蔽防护。

拟建核医学科放射性废水管线走向见附图 6。

②衰变池组工作原理

放射性废水处理间设置在医疗综合楼北侧，绿化以下地理设置，位于医院地下室外围，由 300mm 厚混凝土浇筑，放射性废水处理间内放置三个并联的相同体积的衰变池，每个衰变池容积为 42m^3 ($4\text{m} \times 3.5\text{m} \times 3\text{m}$)。衰变池进水口设置有并联两个化粪池（一用一备），废水出口设置标准取样口。整个衰变组合池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，进水管上设电磁阀，出水采用潜水泵压力排出。运行时先关闭第二、三池进水管上电磁阀，打开第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第一池；待第一池达到设计液位后，打开第二池进水管上的电磁阀，关闭第一池进水管上的电磁阀，使废水进入第二池；按照同样的操作方法，使废水依次进入第三池；待第三池达到设计液位后，关闭第三池进水管上的电磁阀，打开第一池潜水泵，将经过衰变后的废水排入医院污水处理站进一步处理。在每个衰变池排放口设置标准取样口，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后，方可排入医院污水处理站，最后经处理达标后排放纳入市政污水管网。三个衰变池按照上述程序，轮流反复交替使用。衰变池设计图如图 10.5-2 和图 10.5-3 所示。

衰变池进水管上的电磁阀和衰变池排水泵采用 PLC 可编程控制器自动控制。衰变池组的自动化控制系统除能自动控制电磁阀开关及自动启停排水泵外，还能实时监控池内液位状态，水位超过设定正常水位能自动报警，各衰变池的液位、衰变时间自动显示在电脑的显示屏和控制柜的文本显示器上，并可随时查阅或打印当前和历史的相关记录。

衰变池的管理应做到以下几个方面：

①衰变池池底和池壁应坚固、耐酸碱腐蚀和无渗透性，放射性衰变池应加以密封，应有防雨、防渗和防漏的措施。

- ②规定患者治疗期间使用专用厕所，不得使用其他厕所。
- ③专用厕所应具备使病人排泄物迅速全部冲洗入池的条件，而且随时保持便池周围清洁。
- ④每个衰变池设置标准取样检测口，以方便取样检测。
- ⑤衰变间废气排气口由地面绿化带排放，废气应设置活性炭吸附装置除臭处理后排放。

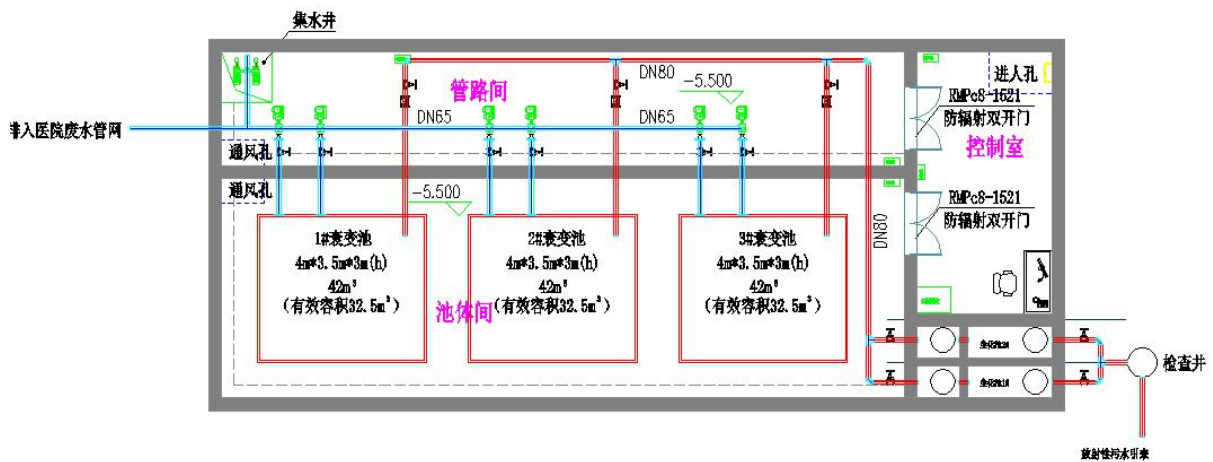


图 10.5-2 核医学放射性废水衰变池平面图

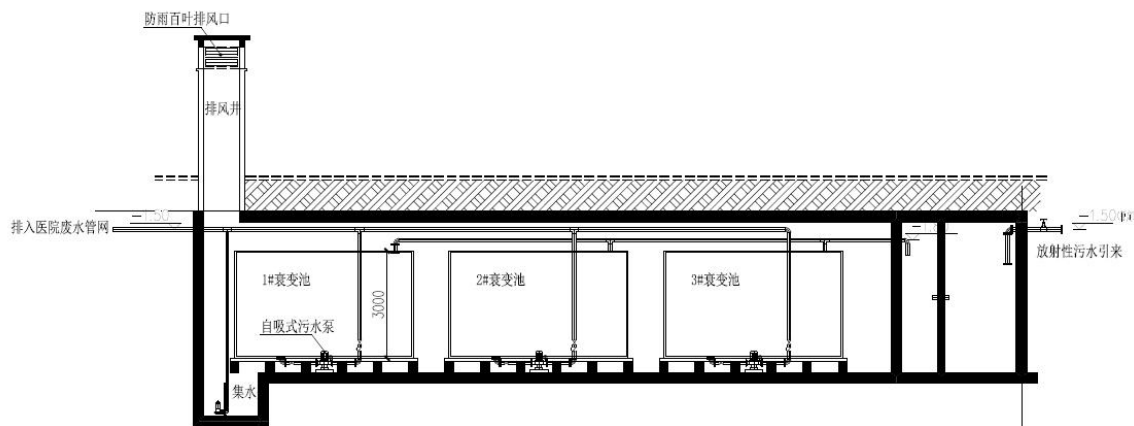


图 10.5-3 核医学放射性废水衰变池剖面图

(2) 放射性废气

本项目拟建核医学科排风井位于核医学科南侧和西南侧，采用竖向风管将核医学科废气排放至主楼楼顶。核医学科排风管道拟分为四支，1号排风管道连接分装注射室内的手套箱，风量为1500m³/h，风速不低于0.5m/s；2号排风管道连接SPECT/CT机房、PET/CT机房、SPECT/CT候检室、VIP候检室、污洗间、留观室、运动负荷室、甲亢观察、甲测室，风量为2000m³/h；3号排风管道支连接分装注射室、源库、污物间、服碘

室、给碘室，3000m³/h；4号排风管道连同PET/CT候检室、留观室和抢救室，风量为1500m³/h；5号排风管道连通场所内各卫生间、污泵间，风量为1500m³/h。通风管道布设如附图6所示。

其中1号、2号、3号排风管道绕过水泵房由南侧排风井汇并至总管，经专用总管排至医疗综合楼主楼楼顶，并高出屋脊排放，3号排风管风机端设置二级活性炭吸附装置，1号和2号排风管风机端设置一级活性炭吸附装置。4号和5号排风管道由核医学科西南侧排风井经专用排风管道排至医疗综合楼主楼楼顶，并高出屋脊排放，风机端设置一级活性炭吸附装置。各排风管道内保持负压，拟安装防回流装置，二级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于99%，一级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于90%。所使用的活性炭需定期更换，更换下来的活性炭应按放射性固体废物进行处理。

衰变池间废气由专用排气筒引至地面绿化带排放，并经活性炭吸附处理后，对周围环境影响不大。

(3) 放射性固废

本项目核医学科运行过程会产生废弃的一次性杯子、一次性注射器、针头、手套、药棉、纱布、破碎杯皿及擦拭污染地面的物品等放射性废弃物。医院拟将上述放射性固体废物收集于核医学科脚踏式铅桶内专用塑料包装袋，包装袋显著位置要标明废物类型、收贮时间、核素种类及数量等内容。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间的衰变箱，让放射性物质自行衰变，待含^{99m}Tc、¹⁸F核素放射性废物贮存30天，含¹³¹I核素放射性废物贮存180天后经检测符合排放标准后，按照医疗废物处置。核医学设有1间污物间，面积约7m²，污物间设置衰变池，不同核素废物经分类暂存衰变，污物间满足需求。

废气处理更换的废活性炭按放射性废物处置，衰变180天后经监测符合排放标准后按医疗固废处置。

10.5.2 直线加速器

(1) 废气

本项目直线加速器机房设有通排风系统，进风管道拟由控制室迷道外墙进入机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地30~40cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶

板处，控制室迷道外墙防护门上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙。项目有效排放量为 3000m³/h，机房有效容积约 290m³，通风换气次数不小于 10 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(2) 废水

直线加速器运行过程中不产生放射性废水。

(3) 固体废物治理措施

废靶件经监测其表面 γ 辐射剂量率符合清洁解控水平后将由设备厂家负责回收。

10.5.3 后装机

(1) 废气

后装机运行时， γ 射线与空气电离会产生少量的臭氧和氮氧化物。本项目后装机机房设有通排风系统，进风管道拟由控制室迷道外墙进入机房，绕经迷道进入治疗室，送风口布排在装饰天花板上合适位置。臭氧密度大于空气平均密度，因此排风口拟设置在机房非主束投照部位墙角处，风管底部（吸风口）离地 30~40cm，进风口和排风口对角设置，上进风，下排风，排风管再沿墙体内壁向上接近顶板处，控制室迷道外墙防护门上方通往室外，风管拟以“Z”字型穿过迷路外墙。后装机房有效排放量为 1500m³/h，机房有效容积约 115m³，通风换气次数不小于 13 次/h，能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求。

(2) 废水

后装机运行过程中不产生放射性废水。

(3) 固废

后装机使用的 ¹⁹²Ir 属于 III 类放射源，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》第二十八条，转让 I 类、II 类、III 类放射源的，转让双方应当签订废旧放射源返回协议。因此在确定采购放射源后，医院将与供源单位签订废旧放射源返回协议，废旧放射源由供源单位换源时直接回收，不在院内储存，并承诺在废旧放射源交回生产单位或者送交废旧放射源收贮单位贮存活动完成之日起二十日内，报其所在地的省级人民政府生态环境主管部门备案。

10.5.4 DSA、ERCPC 及 III 类射线装置机房

DSA、ERCPC 装置诊疗过程使用的造影剂不含放射性；DSA、ERCPC 装置及 PET/CT

和 SPECT/CT 配套用 CT 及其他搬迁III类射线装置均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

DSA、ERCPC 装置及 PET/CT 和 SPECT/CT 配套用 CT 及其他搬迁III类射线装置在曝光过程中产生的少量臭氧和氮氧化物，各射线装置机房均设置有机排风装置。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

11.1.1 施工期环境影响分析

《新昌县人民医院迁建工程环境影响报告书》已取得绍兴市生态环境局批复，批复文号新环建字[2020]99号。有关主体工程施工期环境影响内容详见《新昌县人民医院迁建工程环境影响报告书》有关章节，本次评价不再做相关的环境影响评价。

11.1.2 设备安装调试期间的环境影响分析

设备的安装、调试应请设备厂家专业人员进行，医院方不得自行安装及调试设备。在设备安装调试阶段，应加强辐射防护管理，在此过程中应保证各屏蔽体屏蔽到位，关闭防护门，在各个机房门外设立电离辐射警告标志，禁止无关人员靠近。设备安装调试阶段，不允许其他无关人员进入机房所在区域，防止辐射事故发生。由于各设备的安装和调试均在机房内进行，经过墙体的屏蔽和距离衰减后对环境的影响是可接受的。设备安装完成后，医院方需及时回收包装材料及其它固体废物并作为一般固体废物进行处置，不得随意丢弃。

11.2 核医学科营运期环境影响分析

11.2.1 β 表面污染环境影响分析

为了解项目核医学科运行时工作场所 β 表面污染影响，本次环评类比浙江金华广福肿瘤医院核医学科项目竣工环境保护验收监测数据（浙辐监（YS）字（2016）第113号），由于 β 表面污染与核素种类和核素日等效操作量有关，与工作场所屏蔽防护无关。项目可比性分析详见表11.2-1，类比对象 β 表面污染监测结果详见表11.2-2和表11.2-3。

表 11.2-1 类比对象可比性分析

核素		类比项目（浙江金华广福肿瘤医院）	本项目	用途
^{99m}Tc	日等效最大操作量（Bq）	1.48×10^8	1.39×10^7	SPECT/CT一般器官显像
	年最大使用量（Bq）	1.78×10^{12}	3.48×10^{12}	
^{18}F	日等效最大操作量（Bq）	7.40×10^7	5.55×10^6	PET/CT一般器官显像
	年最大使用量（Bq）	2.20×10^{12}	3.48×10^{12}	
^{131}I	日等效最大操作量（Bq）	1.85×10^8	3.70×10^8	甲亢治疗和甲功能测定
	年最大使用量（Bq）	2.20×10^{11}	9.26×10^{11}	

表 11.2-2 类比对象SEPCT及 ¹³¹I核素工作场所β表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β表面污染 (Bq/cm ²)
控制区	1	^{99m} Tc淋洗分装柜表面	未检出
	2	^{99m} Tc淋洗分装室地面	未检出
	3	注射室地面	未检出
	4	注射窗台面	未检出
	5	医生注射室废物桶表面	未检出
	6	病人注射位地面	未检出
	7	病人注位废物桶表面	未检出
	8	^{99m} Tc给药后候诊室地面	未检出
	9	SPECT/CT机房地面	未检出
	10	¹³¹ I给药室地面	未检出
	11	¹³¹ I服药室地面	未检出
	12	污物间地面	未检出
监督区	13	护理站地面	未检出
	14	SPECT/CT机房控制室面	未检出
	15	检查病人通道地面	未检出

表 11.2-3 类比对象PET/CT工作场所β表面污染监测数据

监测场所	点位编号	点位描述	β表面污染 (Bq/cm ²)
控制区	1	PET注射室地面	未检出
	2	PET药物分装柜表面	未检出
	3	注射窗台面	未检出
	4	废物桶表面	未检出
	5	VIP给药候诊室地	未检出
		给药后候诊室地面	未检出
	7	VIP给药后候诊室南走廊地面	未检出
	8	PET/CT机房地面	未检出
监督区	9	PET和ECT工作场所之间走廊地面	未检出
	10	PET/CT机房控制室地面	未检出
	11	病人离开PET工作场所通道地面	未检出

类比对象制区各监测点和监督区各监测点均未检出β表面污染，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定的控制区β表面污染小于 40Bq/cm²，监督区β表面污染小于 4Bq/cm²要求。类比项目与本项目具有可比性，因此通过类比，可以推测本项目运行时核医学科工作场所监督区和控制区β表面污染符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）相关标准。

11.2.2 γ射线辐射环境影响分析

1、诊疗人数及使用量

SPECT/CT：^{99m}Tc，检查 20 人次/天，5000 人次/年，每人最大用量为 $9.25 \times 10^8 \text{Bq}$ (25mCi)，则 ^{99m}Tc 日实际最大操作量为 $1.85 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

PET/CT：PET/CT 使用 ¹⁸F，检查 20 人次/天，5000 人次/年，每人最大用量为 $3.70 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则 ¹⁸F 日最大操作量 $7.40 \times 10^9 \text{Bq}$ 。为保证每批次最后一位患者注射 ¹⁸F 药物量为 10mCi，拟采取增加放射性药物出厂活度的方式确保活度满足使用要求，即要考虑放射性药物的使用量和备用量，本项目拟暂定一天送 2 次药（上、下午各 1 次），按照日用药量的 2 倍进行备药，一次备药量为 $1.48 \times 10^{10} \text{Bq}$ 。

甲亢治疗：¹³¹I，治疗 5 人/天，1250 人次/年，每人使用的核素最大活度为 $3.7 \times 10^8 \text{Bq}$ (10mCi)，则 ¹³¹I 日实际最大操作量为 $1.85 \times 10^9 \text{Bq}$ 。

甲功测定：¹³¹I，测定 5 人/天，1250 人次/年，每人使用的核素最大活度为 0.37MBq (10 μ Ci)，则 ¹³¹I 日实际最大操作量为 $1.85 \times 10^6 \text{Bq}$ 。

2、核素操作场所屏蔽体外剂量率计算公式

辐射工作人员进行相关放射性药物的分装和给病人注射放射性核素，这个过程主要是放射性核素产生的 γ 射线引起的辐射照射。当病人注射了放射性药物之后，病人又成为一个活动的辐射体，其所在的工作场所则要考虑来自病人身体的射线辐射。

核素操作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），辐射剂量率估算公式为：

$$H=10^{-X/TVL} \cdot A \cdot \Gamma / R^2 \quad (\text{式 11.2-1})$$

式中：

H ——屏蔽体外关注点剂量率，单位为 $\mu\text{Sv/h}$ ；

X ——屏蔽厚度，单位为 mm；

TVL—— γ 射线的十分之一值层厚度，单位为 mm，见表 11.2-4；

A ——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为 $\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ ；

R ——参考点与放射源间的距离，m。

表 11.2-4 本项目涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	¹³¹ I	¹⁸ F	^{99m} Tc
铅什值层厚度 TVL ($\rho=11.3\text{t/m}^3$)	11mm	16.6mm	1mm
混凝土什值层厚度 TVL ($\rho=2.35\text{t/m}^3$)	170mm	176mm	110mm
砖什值层厚度 TVL ($\rho=1.65\text{t/m}^3$)	240mm	263mm	160mm
硫酸钡防护涂料 TVL ($\rho=3.8\text{t/m}^3$)	105mm	109mm	68mm
周围剂量当量率常数 (裸源) $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.0595	0.143	0.0303
患者体外 1m 处的周围剂量当量率 $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/(\text{h}\cdot\text{MBq})$	0.0583	0.092	0.0207

注：硫酸钡防护涂料，根据混凝土 TVL 按密度进行折算。

居留因子参照《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分：一般原则》(GBZ/T201.1-2007) 选取，具体数值见表 11.2-5。

表 11.2-5 居留因子的选取

场所	居留因子 (T)		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2: 相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5: 走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8: 各治疗室房门 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

3、工作场所辐射水平分析及预测

(1) 源库、污物间

项目使用的核素 ^{99m}Tc、¹⁸F、¹³¹I，医院根据与患者预约情况向药物供应商订货，由药物供应商将药物放置于铅罐，直接运输至源库待用。放射药物置于铅罐内再放入源库保险箱内。源库各侧墙体为 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料，顶棚为 250mm 混凝土，防护门内衬 8mm 铅板，放射性药物在储源室暂存期间对周围辐射环境影响很小。

核素应用过程中产生的固废表面核素活度按不超过使用量的 1% 计，放射性固废暂存于污物间衰变箱内，污物间各侧墙体为 240mm 实心砖+40mm 硫酸钡防护涂料，顶棚为 250mm 混凝土，防护门内衬 8mm 铅板，放射性固废在污物间暂存衰变期间对周围辐射环境影响很小。

(2) 分装注射室

医护人员给药前，将放射性药物从源库连同铅罐拿到分装注射室，放置于手套箱内，

给药前的相关操作均在手套箱内进行。 ^{99m}Tc 不开展分装， ^{18}F 根据病人的需要进行手动分装，分装后放入注射器防护套内，注射前医护人员在40mmPb的手套箱内直接从铅罐内拿出带有防护套的注射器，并穿戴有0.5mmPb铅衣。

^{99m}Tc 、 ^{18}F 注射时，药物置于注射器防护套内（ ^{99m}Tc 为4mmPb防护套、 ^{18}F 为10mmPb防护套），在铅玻璃注射窗（ ^{99m}Tc 为10mmPb注射窗、 ^{18}F 为40mmPb注射窗）后进行，并穿戴有0.5mmP个人防护用品。

所用核素 ^{131}I 给药前医护人员将存有药物的铅罐从源库保险柜拿出，置于服碘室碘自动分装仪内。工作人员在控制室远程操作，病人在服碘室可直接拿取盛有分装好的药液的一次性杯子，全过程医护人员进行严格监控。在药物分装和病人服药过程中，工作人员不近距离接触药物。

（3）候检室、留观室与服碘室

SPECT/CT和PET/CT患者注射完放射性药物后，通过患者通道进入相关候检室，候诊时间一般为30min，随后进入相应机房进行显像和诊断；患者结束检查后通过患者通道进入留观室，留观时间一般为10min，无特殊情况发生则由患者通道离开。

核医学科拟设置3间SPECT/CT候检室，其中2间为单人间，另外1间设置3张病椅，病椅均匀分布，病椅之间设置铅屏风（2mm铅当量）。SPECT/CT每次仅能扫描一个患者， ^{99m}Tc 扫描患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ，偏保守的角度仍按单个患者 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ^{99m}Tc 的点源计算。SPECT候检室按3个 ^{99m}Tc 患者同时等待或观察，单个患者注射 ^{99m}Tc 为 $9.25\times 10^8\text{Bq}$ ，则SPECT/CT候检室源强总活度为： $2.775\times 10^9\text{Bq}$ 。

核医学科拟设置2间PET候检室，其中1间VIP室，另外1间设置2张椅位，病椅之间设置铅屏风（10mm铅当量）。PET/CT每次仅能扫描一个患者，患者注射药物 ^{18}F 后经过一段时间的等待，药物活度已经小于 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi），偏保守的角度仍按单个患者 $3.7\times 10^8\text{Bq}$ （10mCi）的点源计算。PET/CT候检室按2个 ^{18}F 患者同时等待或观察，单个患者注射 ^{18}F 为 $3.70\times 10^8\text{Bq}$ ，则PET/CT候检室源强总活度为： $7.40\times 10^9\text{Bq}$ 。

核医学科拟设置1间留观室，留观室设置3张椅位，患者扫描后如有需要在留观室进行观察。患者注射药物 ^{18}F 和 ^{99m}Tc 经过一段时间的等待和检查后，药物活度已经小于初始注射量，偏保守的角度仍按初始注射活度计算。保守按留观室2个 ^{18}F 患者和1个 ^{99m}Tc 患者留观进行计算。

甲功测定¹³¹I用量较小，单个病人最大用量仅为10 μ Ci，对环境影响较小。因此，对于¹³¹I的辐射影响分析，只考虑甲亢治疗，不考虑甲功测定。服碘室每次控制1个病人服碘，则服碘室源强活度为：3.7 \times 10⁸Bq（10mCi）。

(5) 抢救室

使用^{99m}Tc、¹⁸F的患者在显像诊断过程中遇到抢救的情况，需及时进入抢救室实施抢救。以照射量常数及什值层厚度最大的核素¹⁸F进行估算，注射¹⁸F的患者每人最大用量为3.70 \times 10⁸Bq（10mCi），故按单个患者3.7 \times 10⁸Bq（10mCi）点源计算。抢救过程工作人员穿着0.5mmPb个人防护用品，按身体距离患者约50cm进行估算。

(6) 机房摆位人员

摆位过程工作人员穿着0.5mmPb个人防护用品，在防护屏风（PET/CT机房为10mm铅当量，SPECT/CT机房2mm铅当量）后进行摆位工作，按身体距离患者约1m进行估算。

(7) 患者走廊

患者走廊可能存在使用^{99m}Tc、¹⁸F、¹³¹I的患者，以照射量常数及什值层厚度最大的核素¹⁸F进行估算。注射¹⁸F的患者患者注射药物经过一段时间的等待，药物活度已经小于3.7 \times 10⁸Bq（10mCi），偏保守的角度仍按单个患者3.7 \times 10⁸Bq（10mCi）点源计算。

根据式11.2-1，拟建核医学科辐射剂量率计算结果见表11.2-6，关注点位置见附图8。

表 11.2-6 核医学科辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离 (m)	源强 (MBq)	屏蔽厚度	辐射剂量率 (μ Sv/h)	
1	分装注射室(裸源)	手套箱、取药位	0.3	¹⁸ F 14800	50mmPb铅罐+40mmPb手套箱	0.09	0.09
			0.3	^{99m} Tc 18500	20mmPb铅罐+40mmPb手套箱	1.97E-57	
2	分装注射室(裸源)	¹⁸ F注射位	0.3	¹⁸ F 370	40mmPb注射窗	2.29E-00	
3		^{99m} Tc注射位	0.3	^{99m} Tc 925	10mmPb注射窗	3.11E-8	
4		¹³¹ I取药	0.3	¹³¹ I 1850	50mmPb铅罐+0.5mmPb铅衣	1.13E-02	
5	给碘室东侧墙体外30cm处(裸源)		1.4	¹³¹ I 1850	50mmPb铅罐+300mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	3.74E-04	

6	服碘室东侧墙体外 30cm 处	1.4	¹³¹ I 370	300mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	2.57E-01	
7	甲亢观察室东侧墙体外 30cm 处	1.6	¹³¹ I 370	300mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.97E-01	
8	甲亢观察室防护门外 30cm 处	2.8	¹³¹ I 370	内衬 8mm铅板	5.16E-01	
9	甲亢观察室顶棚外 30cm 处	3.3	¹³¹ I 370	250 混凝土	6.70E-02	
10	污物间东侧墙体外 30cm 处（裸源）	1.4	¹⁸ F: 148	10mm铅废物箱+240mm 实心砖+40mm硫酸钡防 护涂料	1.42E-01	1.42E-01
			^{99m} Tc:185		2.33E-12	
			¹³¹ I:18.5		2.88E-03	
11	污物间防护门外 30cm 处（裸源）	1.4	¹⁸ F: 148	10mm铅废物箱+内衬 6mm铅板	1.18	1.20
			^{99m} Tc:185		2.86E-16	
			¹³¹ I:18.5		1.97E-02	
12	污物间顶棚外 30cm 处（裸源）	3.3	¹⁸ F: 148	10mm铅废物箱+250mm 混凝土	1.84E-02	1.88E-02
			^{99m} Tc:185		2.75E-13	
			¹³¹ I:18.5		4.22E-04	
13	污物间南侧墙体外 30cm 处（裸源）	1.4	¹⁸ F: 148	10mm铅废物箱+240mm 实心砖+40mm硫酸钡防 护涂料	1.42E-01	1.45E-01
			^{99m} Tc:185		2.33E-12	
			¹³¹ I:18.5		2.88E-03	
14	源库防护门外 30cm 处（裸源）	1.4	¹⁸ F: 7400	50mmPb铅罐+内衬 6mm铅板	2.29E-01	2.29E-01
			^{99m} Tc 18500	20mmPb铅罐+内衬 6mm铅板	2.86E-24	
			¹³¹ I 1850	50mmPb铅罐+内衬 6mm铅板	4.56E-04	
15	源库顶棚外 30cm 处 （裸源）	3.3	¹⁸ F: 7400	50mmPb铅罐+250mm 混凝土	3.59E-03	3.60E-03
			^{99m} Tc 18500	20mmPb铅罐+250mm 混凝土	2.75E-21	
			¹³¹ I 1850	50mmPb铅罐+250mm 混凝土	9.74E-06	
16	SPECT/CT 候检室东 侧墙体外 30cm 处	2.2	^{99m} Tc 2775	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	9.69E-02	
17	SPECT/CT 候检室防 护门外 30cm 处	2.8	^{99m} Tc 2775	内衬 6mm铅板	7.33E-06	
18	SPECT/CT 候检室顶 棚外 30cm 处	3.3	^{99m} Tc 2775	250mm混凝土	2.81E-02	
19	SPECT/CT 机房东侧 墙体外 30cm 处	4.0	^{99m} Tc 925	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	9.77E-03	
20	SPECT/CT 机房南侧 墙体外 30cm 处	3.8	^{99m} Tc 925	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.08E-02	
21	SPECT/CT 机房观察 窗外 30cm 处	3.8	^{99m} Tc 925	6mmPb铅玻璃	1.33E-06	
22	SPECT/CT 机房内摆 位处	1	^{99m} Tc 925	0.5mmPb防护用品 +2mmPb铅屏风	6.05E-02	

23	PEC/CT 候检室西侧墙体外 30cm 处	2.1	¹⁸ F 740	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	8.11E-01	
24	PEC/CT 候检室防护门外 30cm 处	2.8	¹⁸ F 740	内衬 10mm铅板	2.19	
25	PEC/CT 候检室顶棚外 30cm 处	3.3	¹⁸ F 740	250mm混凝土	2.37E-01	
26	PET/CT 机房西侧墙体外 30cm 处	4.0	¹⁸ F 370	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.12E-01	
27	PET/CT 机房北侧墙体外 30cm 处	3.8	¹⁸ F 370	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	1.24E-01	
28	PET/CT 机房观察窗外 30cm 处	3.8	¹⁸ F 370	8mmPb铅玻璃	7.77E-02	
29	PET/CT 机房内摆位处	1	¹⁸ F 370	0.5mmPb防护用品+10mmPb铅屏风	7.93	
30	留观室北侧墙体外 30cm 处	2.5	¹⁸ F: 740	240mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	5.72E-01	5.97E-01
			^{99m} Tc: 925		2.50E-02	
31	留观室西侧墙体外 30cm 处	5.5	¹⁸ F: 740	300mm实心砖+40mm硫酸钡防护涂料	6.99E-02	7.21E-02
			^{99m} Tc: 925		2.18E-03	
32	留观室顶棚外 30cm 处	3.3	¹⁸ F: 740	250mm混凝土	2.37E-01	2.46E-01
			^{99m} Tc: 925		9.38E-03	
33	抢救室抢救位	0.5	¹⁸ F: 370	0.5mmPb防护用品	127	

由上表估算结果可知，核医学科控制区实体屏蔽体外 30cm 处周围剂量当量率均小于 2.5 μ Sv/h，手套箱外表面 30cm 处人员操作位周围剂量当量率小于 2.5 μ Sv/h，屏蔽设计满足要求，对周围辐射环境影响较小。

实际上，患者在注射后候检室等待过程中，由于衰变作用导致患者体内核素的活度不断减少，因而对墙外或门外的辐射影响也不断降低。

4、SPETC/CT 和 PET/CT 叠加剂量率

SPECT/CT 和 PET/CT 进行 CT 扫描时，场所周围存在 CT 散射与患者释放的 γ 射线的叠加辐射贡献，故单独进行分析。根据西门子厂家 140kVp 工况下 CT 周围的剂量率分布曲线，1m 处的杂散辐射为 0.052 μ Gy/mAs（垂直）和 0.051 μ Gy/mAs（水平），CT 扫描通常不超过 300mA，故 1m 处的杂散辐射剂量率最高约 56.16mGy/h。其他型号设备的 CT 散射辐射水平也在相同量级。

本项目 PET/CT 机房和 SPECT/CT 的有效屏蔽厚度不低于 3mm 铅当量，透射系数为 1.28E-4，按照关注点的最近距离 3m 估算，CT 运行所致的附加剂量率为 0.8 μ Gy/h。可见，表 11.2-6 核医学科场所机房控制区边界外的附加剂量率估算结果叠加 CT 运行所致附加剂量率，也不超过设定的 2.5 μ Sv/h 的剂量率控制水平。保守假设全部 PET/CT 和

SPECT/CT 检查人员做 CT 扫描, 每人每次 CT 出束时间以毫秒计, 保守按 5s 计算, PET/CT 和 SPECT/CT 各年检查 5000 人次, 全年出束时间约 7h, 对机房周围全居留人员的年附加剂量贡献仅为 5.6 μ Sv, 因此 CT 运行产生的 X 射线对控制室辐射工作人员和周围公众人员附加剂量贡献值可忽略不计。

5、工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料, 项目正式开展后, 每年工作 250 天, 每周工作 5 天, 每天工作 8h。核医学科工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11.2-7。

表 11.2-7 辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	操作内容	操作时间	人员数量
分装注射室	核素分装注射	^{99m} Tc 不开展分装, 每年注射 5000 次, 取药每次 30s, 注射每次 30s; ¹⁸ F 每年分装 5000 次, 每次 1min, 每年注射 5000 次, 每次 30s	4 人轮岗
分碘	分碘仪操作	每天将 ¹³¹ I 铅罐安装在分碘仪, 自动分装给药	
SPECT/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人每次摆位 1 分钟	4 人 (2 人 1 组轮班操作)
SPECT/CT 控制室	SPECT/CT 控制、图像采集	每人每次扫描 15 分钟	
PET/CT 机房	指导患者躺至正确的位置	每人每次摆位 1 分钟	4 人 (2 人 1 组轮班操作)
PET/CT 控制室	PET/CT 控制、图像采集	每人每次扫描 5 分钟	
抢救室	对患者进行抢救	每次抢救按 30 分钟计, 一年不超过 10 次	2 人

根据表 11.2-6 预测的各关注点处辐射剂量率, 结合医院预估工作量, 关注点处人员居留因子等参数, 由式 11.2-2 计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量, 见表 11.2-8。

关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算, 计算公式如下:

$$D_{Eff} = D_r \times t \times T \times U \quad (\text{式 11.2-2})$$

式中: D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量, Sv;

D_r ——辐射剂量率, Gy/h;

t ——年工作时间, h;

T ——居留因子;

U ——使用因子, 以点源考虑, U 取 1。

表11.2-8 辐射工作人员个人年有效剂量估算

工作场所	人员类型	操作	核素	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	年工作时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
分装注射室	护士	分装	¹⁸ F	0.09 (1#)	1	83.3h (1min/次×5000次)	7.50E-03
		注射	¹⁸ F	2.29E-00 (2#)	1	41.7h (30s/次×5000次)	9.55E-02
			^{99m} Tc	3.11E-08 (3#)	1	41.7h (30s/次×5000次)	1.29E-10
		给碘	¹³¹ I	1.13E-02 (4#)	1	8.3h (1min×250次)	9.38E-5
		污物间		1.20 (11#)	1	166.3h (分装取药、注射)	0.20
		源库		2.29E-01 (14#)	1		0.038
SPECT/CT 机房摆位	技师	摆位	^{99m} Tc	6.05E-02 (22#)	1	83.3h (1min/次×5000次)	5.04E-03
SPECT/CT 操作位		扫描	^{99m} Tc	1.33E-06 (21#)	1	1250h (15min/次×5000次)	1.66E-06
PET/CT 机房摆位		摆位	¹⁸ F	7.93 (29#)	1	83.3h (1min/次×5000次)	0.66
PET/CT 操作位		扫描	¹⁸ F	7.77E-02 (28#)	1	416.7h (5min/次×5000次)	3.24E-02
抢救室	医生	抢救	¹⁸ F	127 (33#)	1	5h (30min/次×10次)	0.64

根据上述估算结果可知：辐射工作人员人员年有效剂量最大为069mSv，可满足本项目职业人员年剂量约束值不超过5mSv的要求。

由于分装注射室由多人进行轮岗操作，因此分装注射室辐射工作人员所受年有效剂量比预测值更低。

6、公众受照剂量估算

根据表11.2-6预测的各关注点处辐射剂量率，结合核医学科周围公众情况、关注点处人员居留因子等参数，由式11.2-2计算即可得到核医学科周围公众的年有效剂量，见表11.2-9。

表11.2-9 核医学科公众人员年有效剂量估算

关注场所	人员类型	辐射剂量率 (μSv/h)	居留因子	与核医学边界距离 (m)	受照时间 (h)	年有效剂量 (mSv)
东侧护士站	公众	1.97E-01 (7#)	1	紧邻	208.3 (每人留观 10min, 年 1250 人次)	0.041
东侧候诊区		2.57E-01	1/16	紧邻	2000	0.032

	(6#)					
东侧放疗科	2.57E-01 (6#)	1	18	2000	1.59E-03	
南侧档案室	7.77E-02 (28#)	1	18	2000	4.80E-04	
西侧负二层 停车场	7.21E-02 (31#)	1/16	紧邻	2000	9.01E-03	
楼上药库室	2.37E-01 (25#)	1/16	紧邻	2000	2.96E-02	
地面停车场	2.37E-01 (25#)	1/16	9	2000	3.66E-04	
医疗综合楼 其他公众	2.37E-01 (25#)	1	10	2000	4.74E-03	

根据上述估算结果可知：公众年有效剂量最大为0.041mSv，能满足本项目公众年剂量约束值不超过0.1mSv的要求。衰变池为地理式，且衰变池为300mm混凝土构筑物，因此，衰变池不会对周围公众造成额外附加剂量。

综上所述，核医学科工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”要求，也低于本评价提出的工作人员 5mSv 和公众 0.1mSv 年剂量约束值。

11.2.1.2 核医学“三废”影响分析

(1) 放射性废水

医院核医学科产生的放射性废水通过专门的管道进行统一收集至核医学科东侧和西侧的集水井中，经提升泵提升至衰变池组，经衰变处理达标后排入医院污水处理系统进一步处理。本项目核医学放射性废水管线走向见附图 6。

衰变池设置在医疗综合楼北侧绿化带下，地理设置，位于医院地下室外围。放射性废水处理间由 300mm混凝土浇筑而成，处理间内放置 3 个相同的衰变池，每个衰变池容积为 42m³（4m×3.5m×3m），有效容积为 32.5m³，衰变池并联设置，交替使用。在衰变池排放出口设置自动取样测量系统，可自动监测废水中核素比活度，任意一衰变池经衰变后的废水需经采样监测符合排放标准后（每个池子设有人工取样口，排放前应委托有资质的单位，监测指标为：总β≤10Bq/L），方可排入医院污水处理系统。医院应根据监测数据结果制定排水计划，可定期将废水排放至医院医疗废水处理站进一步处理后纳入市政管网。每次排放应做好废水排放台账，详细记录废水排放量、排放时间及排放浓度，并存档保存。

核医学科放射性废水主要是工作台面、地面去污时产生的放射性废水，工作人员操

作过程中手部受到微量污染的清洁废水，患者冲洗排便废水。本项目进放射性废水涉及的核素主要为¹⁸F（半衰期为109.8min）、^{99m}Tc（半衰期为6.02h）、¹³¹I（半衰期8.02d）。

根据工程分析，本项目核医学科工作场所放射性废水产生量为125m³/a，平均0.5m³/d（以250天计）。

本项目三个衰变池采用“槽式”排放，通过阀门切换并联运行，每个衰变池容积为42m³（4m×3.5m×3m），考虑最高水位，有效容积按32.5m³计，则放射性废水注满一个衰变池需要65个工作日（即91自然日）。第一个衰变池最后进入的废水存储时间为：32.5m³×2/0.5m³≈130个工作日（即184天）（即为第三个衰变池注满的时间）。本项目的放射性废水可以在衰变池内暂存184天，放射性废水主要含有¹⁸F、^{99m}Tc、¹³¹I，¹³¹I半衰期最长为8.02d，废水可以在衰变池中贮存达23个半衰期。

由GB18871-2002附录B的B1.3.4和B1.3.5可知，放射性核素ALImin采用下式计算：

$$ALImin=DL/E_j \quad (\text{式 } 11-3)$$

DL表示职业人员接触限值，取20mSv/a；

E_j表示GB18871-2002表B3工作人员吸入和食入单位摄入量所致的待积有效剂量，取其中最大值。

项目废水各核素排放导出限值详见表11.2-10，排放情况详见表11.2-12。

表11.2-10 废水中各核素排放导出限值

核素	e _j (Sv/Bq)	月排放限值 (Bq)	一次排放限值 (Bq)
¹⁸ F	9.3×10 ⁻¹¹	2.15×10 ⁹	2.15×10 ⁸
^{99m} Tc	2.9×10 ⁻¹¹	6.90×10 ⁹	6.90×10 ⁸
¹³¹ I	2.2×10 ⁻⁸	9.10×10 ⁶	9.10×10 ⁵

表11.2-11 项目放射性废水各核素活度

核素名称	半衰期	日最大用量 (Bq)	体内核素排入废水比例	单日衰变池核素最大排放量 (Bq)
¹⁸ F	109.8min	1.48×10 ¹⁰	20%	2.96×10 ⁹
^{99m} Tc	6.02h	1.85×10 ¹⁰	20%	3.70×10 ⁹
¹³¹ I (甲亢和甲测)	8.02d	1.85×10 ⁹	20%	3.70×10 ⁸

注：*参考相关文献（AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding Requirements），显像诊断核素随人体排出的活度约为使用量的15%，本项目保守考虑，取20%

表11.2-12 废水排放情况表

核素名称	半衰期	单日衰变池核素最大排入量 (Bq)	注满一池核素活度 (Bq)	衰变时间	衰变后核素排放量 (Bq)	ALlmin (Bq)	排放浓度 (Bq/L)
¹⁸ F	109.8min	2.96×10 ⁹	1.48×10 ¹¹	184d	<0.01	2.15×10 ⁸	0.07
^{99m} Tc	6.02h	3.70×10 ⁹	1.85×10 ¹¹	184d	<0.01	6.90×10 ⁸	
¹³¹ I	8.02d	3.70×10 ⁸	1.85×10 ¹⁰	184d	2.4×10 ³	9.10×10 ⁵	

根据《核医学科辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中“对于槽式衰变池，所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天）监测结果经审管部门认可后，按照 GB18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总 α 不大于 1Bq/L、总 β 不大于 10Bq/L，碘-131 的放射性活度不大于 10Bq/L。

由上表可知，本项目放射性废水经衰变池衰变后，废水中各放射性核素一次排放量均小于相应核素的 1ALlmin，总 β 和碘-131 的放射性活度不大于 10Bq/L，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中放射性废液排放的相关要求，同时满足《医疗机构水污染物排放标准》中总β小于 10Bq/L 的要求。放射性废水经衰变后排入医院污水处理站，污水处理站废水量远大于放射性废水的 10 以上，因此放射性废水排放满足要求。

（2）放射性废气

由污染源分析可知，核医学科使用的放射性同位素除 ¹³¹I 外均为非挥发性核素，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需加热、振荡等步骤。核医学科拟安装专用手套箱，核素操作均在手套箱中进行，经专用排风管道由风机抽吸排出，手套箱排气速率不小于 0.5m/s。

核医学科放射性废气经由场所南侧和东南侧排风井排至医疗综合楼楼顶，并高出屋脊进行排放。排风管内保持负压，拟安装防回流装置，并拟在风机出风段设活性炭过滤装置，一级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于90%，二级活性炭吸附装置对放射性气溶胶吸附效率不小于99%。根据源项分析，本项目排放口¹³¹I排放浓度为 0.77Bq/m³，满足本项目提出的排放口浓度控制建议值。根据公众人员外照射剂量转换因子¹³¹I为7.4×10⁻⁹Sv/Bq（根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）表B7查到），本项目核医学科全年工作2000h，假设人呼吸量为1.2m³/h，则公众受内照

剂量为：

$1.37 \times 10^{-2} \text{mSv/a} / [(0.77 \text{Bq/m}^3 \times 7.4 \times 10^{-9} \text{Sv/Bq} \times 2000 \text{h} \times 1.2 \text{m}^3/\text{h} \times 1000 \text{mSv/Sv} = 1.37 \times 10^{-2} \text{mSv/a}]$ ，远低于对公众照射剂量约束值 0.1mSv/a 。因此本项目产生的放射性废气对周围环境影响较小。

(3) 放射性固废影响分析

本项目放射性固体废物主要为注射器、针头、手套、药棉、纱布、破损杯皿、擦拭污染地面的物品、一次性杯子以及废气处理更换的废活性炭等。

根据本项目开展方案，SPECT/CT ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) 诊断每年为5000人次，PET/CT (^{18}F) 诊断每年5000人次， ^{131}I 甲亢和甲测就诊每年2500人次。类比浙江同类型医院核医学科开展情况，患者门诊诊疗过程放射性固废产生量约 0.05kg/人次 ，则本项目核医学门诊诊疗放射性固废产生量为 625.0kg/a 。

根据医院制度要求，核医学科分装注射室设置1个脚踏式铅桶，SPECT/CT候检室、PET/CT候检室、留观室、服碘室、甲亢观察室、甲测室各设置1个脚踏式铅桶。按含 ^{18}F 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 短半衰期核素固废、含 ^{131}I 核素固废进行分类分质收集，污物间设有1个衰变箱，收集的固废放置于衰变箱中衰变。环评要求根据核素衰变周期分类收集、分类储存，医护人员定期将收集的放射性废物按类别转移至污物间放射性废物衰变箱内。

医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所铅污物桶内专用塑料包装袋，包装袋要标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg 。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于污物间衰变箱内，让放射性物质自行衰变。

每袋密封暂存的衰变袋显著位置应标注有废物类型、核素种类、存放日期、数量等说明。本次评价建议将含 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 核素的固废集中贮存衰变30天，将含 ^{131}I 核素的固废集中贮存衰变180天，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平， β 表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后可对其清洁解控，作为医疗废物委托当地有资质单位处置。

另外本项目核医学科放射性废气处理设置有5套活性炭吸附装置，活性炭填装量分别为 25kg 、 25kg 、 25kg 、 25kg 、 50kg ，平均每半年更换一次，每年更换量为 300kg 。环评要求医院应根据核医学科工作量、季节及气候不同适时增加活性炭更换频次，为维持活性炭的干燥性，保证其吸附能力。核医学科废气排放口更换的废活性炭也属于放射性废物，医院将更换下的活性炭先统一存放于衰变箱中，标注活性炭名称、存放日期、存

放量等，经监测符合清洁解控要求后当作医疗固废委托有资质单位处置。

医院应做到：

(1) 严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

(2) 对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅污物桶内，再将铅污物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，存放到污物间的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后（视不同的核素，控制不同的收贮时间，以减少放射性废物的收贮量）再分类处理。受不同核素污染的固体废物分开收储，每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

(3) 放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令 第 612 号）的相关规定。

11.3 放疗科直线加速器营运期时环境影响分析

本项目加速器 X 射线最大能量为 10MV，本次计算以 X 射线最大能量进行计算。根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011），在未获得放射治疗单位的工作负荷时，在屏蔽设计中典型放射治疗工作负荷取 1500Gy/周，治疗照射时间 $t=1500\text{Gy}/\text{周} \div 6\text{Gy}/\text{min}=250\text{min}/\text{周}=4.2\text{h}/\text{周}$ ，按 50 周/年计，则出束时间为 210h/a。治疗过程中，调强因子一般为 2~4，GBZ/T201.2-2011 A.1.2 显示，通常 $N=5$ 。因此本评价调强因子 $N=5$ 。

11.3.1 加速器机房关注点及剂量率控制水平

(1) 关注点位设置

根据《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T201.2-2011）的要求，在本项目直线加速器机房外表面 30cm 处，人员受照的剂量当量可能最大的位置设定关注点对治疗室的屏蔽体进行核算，关注点位见图 11.3-1，11.3-2。根据《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）附录 A，不同场所的居留因子选取如表 12.3-2 所示。

表 11.3-1 直线加速器机房各关注点一览表

序号	关注点	点位描述	居留因子	备注
1	a	东墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即负二层停车库	1/16	偶然居留
2	b	西墙（主屏蔽墙的主屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房	1/2	部分居留
3	a ₁	东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即负二层停车库	1/16	偶然居留
4	a ₂	东墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即负二层停车库	1/16	偶然居留
5	b ₁	西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房	1/2	部分居留
6	b ₂	西墙（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）外 30cm 处，即后装机房	1/2	部分居留
7	c	北墙外 30cm 处，即土层	1/40	偶然居留
8	d	南墙外 30cm 处，即控制室	1	全居留
9	k	南墙外 30cm 处，即水冷机房	1	全居留
10	g	加速器机房防护门外 30cm 处，准备区	1/4	部分居留
11	m	机房顶部（主屏蔽墙的主屏蔽区）30cm 处，即封闭空间	1/40	偶然居留
12	m ₁	机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，即封闭空间	1/40	
13	m ₂	机房顶部（与主屏蔽区相连的次屏蔽区）30cm 处，即封闭空间	1/40	

表 12.3-2 不同场所的居留因子

场所	居留因子		示例
	典型值	范围	
全居留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分居留	1/4	1/2~1/5	1/2: 与屏蔽室相邻的患者检查室 1/5: 走廊、工作人员休息室
偶然居留	1/16	1/8~1/40	1/8: 各治疗室房门外 30cm 处 1/20: 公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40: 仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场、车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

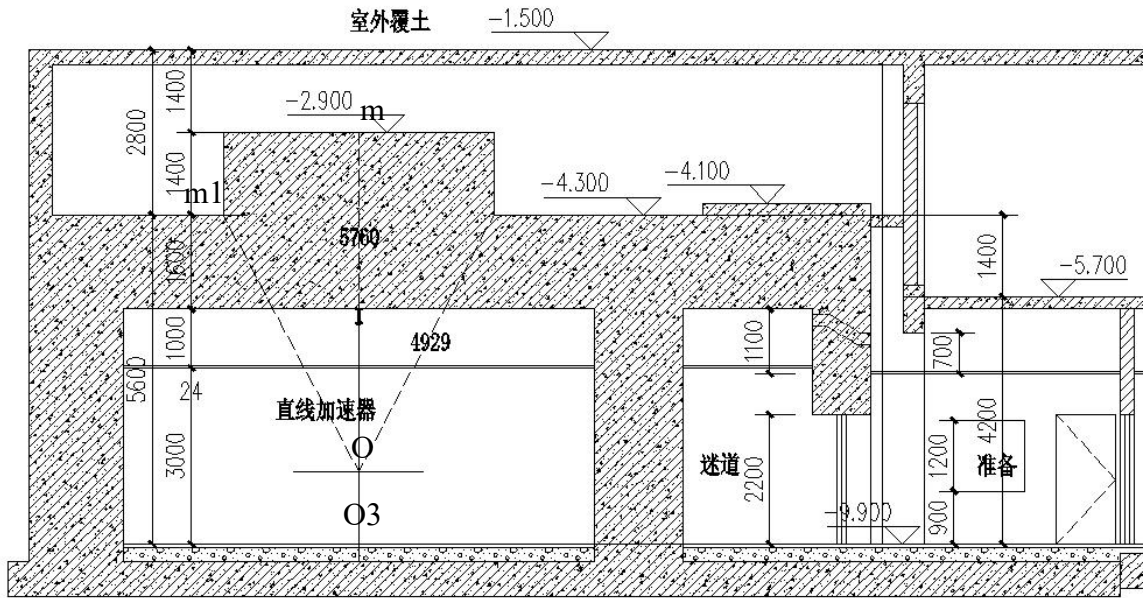


图 11.3-2 加速器机房（东-西剖面布局）关注点和主要照射路径示意图(mm)

(2) 导出剂量率参考控制水平确定

由 GBZ/T201.2-2011 附录 A.2, 单一有用线束关注点的导出剂量率控制水平为:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 11.3-1})$$

式中:

H_c : 周参考剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$); 根据 4.2.1 的 a), 机房外控制区的工作人员, $H_c \leq 100 \mu\text{Sv}/\text{周}$; 机房外非控制区人员, $H_c \leq 5 \mu\text{Sv}/\text{周}$;

t: 治疗装置周治疗照射时间, h;

U: 有用线束向关注位置的方向照射的使用因子;

T: 人员在相应关注点驻留的居留因子。

单一泄漏辐射在关注点的导出剂量率控制水平为:

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (N \cdot t \cdot T) \quad (\text{式 11.3-2})$$

式中:

N: 调强治疗时用于泄漏辐射的调强因子;

其余同公式 11.3-1。

上述导出的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平 (人员居留因子 $T \geq 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$; 人员居留因子 $T < 1/2$ 的场所: $\dot{H}_{c,max} \leq 10 \mu\text{Sv}/\text{h}$) 相比较, 取其较小者为关注点剂量率参考控制水平。

对于与主屏蔽直接相连的次屏蔽区，属于复合辐射。根据 GBZ/T201.2-2011 中附录 A2.2 复合辐射，导出剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ 需考虑加速器的泄漏辐射和有用线束水平照射的患者散射辐射，其中患者散射导出剂量率参考控制水平为 $\dot{H}_{c,max}$ 的一半；泄漏辐射导出剂量参考控制水平为公式（11.3-2）计算结果的一半，二者之和为该关注点的导出剂量率参考控制水平。

根据 GBZ/T201.2-2011，加速器机房顶关注点的剂量率参考控制水平应以 $H_c \leq 5\mu\text{Sv/周}$ ， $\dot{H}_{c,max} \leq 2.5\mu\text{Sv/h}$ 按上述方法计算。

各关注点剂量率控制水平见表 11.3-3。

表 11.3-3 各关注点剂量率控制水平

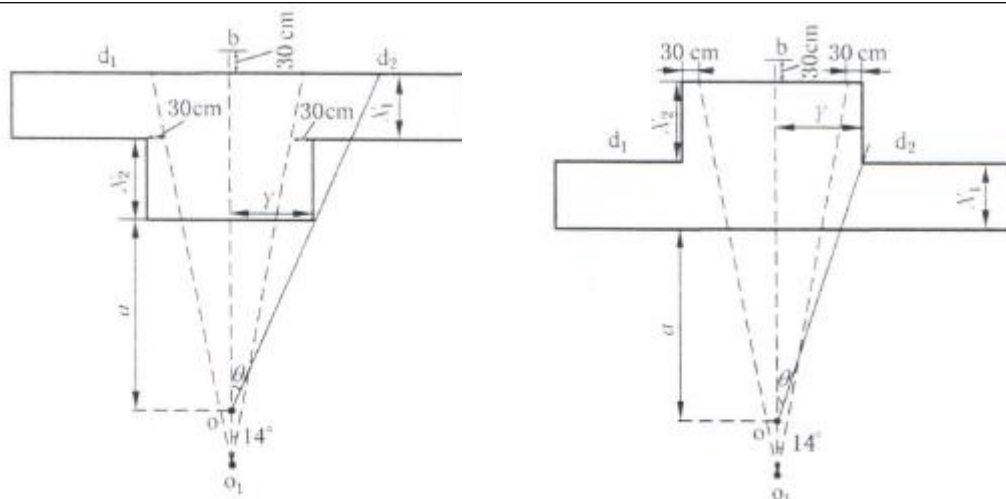
关注点	辐射类型	居留因子 (T)	使用因子 (U)	调强因子 (N)	周治疗照射时间 (t)	H_c ($\mu\text{Sv/周}$)	$\dot{H}_{c,d}$ 计算值 ($\mu\text{Sv/h}$)				$\dot{H}_{c,max}$ ($\mu\text{Sv/h}$)	\dot{H}_c ($\mu\text{Sv/h}$) 最终取值
							有用	泄漏	散射	合计		
a	有用	1/16	1	-	4.2	5	19	-	-	19	10	2.5
b	有用	1/2	1	-	4.2	5	2.4	-	-	2.4	2.4	2.4
a ₁	复合	1/16	$U_x=1$	5	4.2	5	-	1.9	5	6.9	10	2.5
a ₂	复合	1/16	$U_x=1$	5	4.2	5	-	1.9	5	6.9	10	2.5
b ₁	复合	1/2	$U_x=1$	5	4.2	5	-	0.2	1.25	1.45	2.5	1.45
b ₂	复合	1/2	$U_x=1$	5	4.2	5	-	0.2	1.25	1.45	2.5	1.45
c	泄漏	1/40	1	5	4.2	5	-	9.5	-	9.5	10	9.5
d	泄漏	1	1	5	4.2	100	-	4.8	-	4.8	2.5	2.5
g	复合	1/4	$U_x=1$	5	4.2	5	-	0.5	5	5.5	10	2.5
k	泄漏	1	1	5	4.2	100	-	4.8	-	4.8	2.5	2.5
m	有用	1/40	1	-	4.2	5	47.6	-	-	47.6	10	10
m ₁	复合	1/40	$U_x=1$	5	4.2	5	-	4.8	5	9.8	10	9.8
m ₂	复合	1/40	$U_x=1$	5	4.2	5	-	4.8	5	9.8	10	9.8

备注：表中 U_x 表示泄漏辐射的使用因子。

保守考虑，在有人员可到达区域，导出剂量率控制值大于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 时，均取 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

(3) 有用线束主屏蔽区宽度核算

本项目直线加速器机房主屏蔽区包括顶棚及墙体的部分位置。加速器主射线的最大出束角度为 28° ，有用线束主屏蔽区示意图见图 11.3-3，本项目主屏蔽墙的东墙和西墙主屏蔽区为内凸，顶棚主屏蔽区为外凸，主屏蔽宽度根据公式 11.3-3 计算。



$$Y = (100 + a + X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 30$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1}(Y/a)$$

(a) 主屏蔽区内凸

$$Y = (100 + a + X_1 + X_2) \operatorname{tg} 14^\circ + 30$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1}[Y/(a + X_1)]$$

(b) 主屏蔽区外凸

图 11.3-3 有用线束主屏蔽区示意图

内凸半宽度计算公式: $Y = (100 + a + X_2) \operatorname{tg}(\frac{\theta}{2}) + 30$ (式 11.3-3(a))

外凸半宽度计算公式: $Y = (100 + a + X_1 + X_2) \operatorname{tg}(\frac{\theta}{2}) + 30$ (式 11.3-3(b))

式中:

Y ——机房有用束主屏蔽区的半宽度, cm;

a ——等中心至主屏蔽墙的距离, cm;

X_1 ——墙体厚度, cm;

X_2 ——凸出部分厚度, cm;

θ ——治疗束的最大张角(相对束中的轴线), 本项目取值 28 度。

计算结果如表 11.3-4 所示。

表 11.3-4 加速器机房主屏蔽范围计算表

设备	主屏蔽体	等中心主屏蔽墙到中心点距离 (cm)	墙体厚度 (cm)	凸出部分厚度 (cm)	主屏蔽区计算值 (cm)		设计的主屏蔽范围值 (cm)	结论
		a	X_1	X_2	Y	$2Y$		
10MV 直线加速器	东墙	400	180	120	185	370	400	满足
	西墙	400	180	120	185	370	400	满足
	顶棚	276	160	140	199	398	460	满足

由于本项目加速器机房建在地下负二层, 下方为土层, 所以地面的防护不予考虑。

设备厂家和建设单位在进行直线加速器安装时，必须严格按照既定的摆位方式进行安装，即主射束为东侧、西侧、地面及屋顶，杜绝安装后主射方向超出屏蔽范围的情况出现。

11.3.2 直线加速器机房屏蔽体的屏蔽效果分析

为估算加速器机房外环境保护目标的剂量，本环评采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第2部分：电子直线加速器放射治疗机房》（GBZ/T 201.2-2011）中不同辐射的屏蔽与剂量估算方法如下：

(1) 有用线束主屏蔽区和泄漏辐射屏蔽效果（a、b、m）

首先按式 11.3-4 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，接着按式 11.3-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.3-6 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$X_e = X \sec\theta \quad (\text{式 11.3-4})$$

式中：

X_e ——射线束在斜射路径上的有效屏蔽厚度，(cm)；

X ——屏蔽墙体厚度，(cm)；

θ ——入射角夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11.3-5})$$

式中， $TVL_1(\text{cm})$ 和 $TVL(\text{cm})$ 为辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度和平衡什值层厚度。当未指明 TVL_1 时， $TVL_1 = TVL$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.3-6})$$

式中：

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

f ——对有用线束为 1；对泄漏辐射为泄漏辐射比率，取 0.001；

R ——辐射源点(靶点)至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

表 11.3-5 有用线束主屏蔽区外预测点位辐射剂量率计算结果

参数	a 点	b 点	m 点
射线路径	O ₁ -a	O ₂ -b	O ₃ -m
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	300	300	300
斜射角 θ (°)	0	0	0
有效厚度 X _e (cm)	300	300	300
距离 R (m)	8.3	8.3	7.06
\dot{H}_0 (μSv.m ² /h)	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸
f	1	1	1
TVL ₁ (cm)	41	41	41
TVL (cm)	37	37	37
B	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸	1.00×10 ⁻⁸
\dot{H} (μSv/h)	0.05	5.23×10 ⁻²	0.07
导出剂量控制限值 H _c (μSv/h)	2.5	2.4	10
是否满足要求	满足	满足	满足

(2) 侧屏蔽墙泄漏辐射的屏蔽效果 (c、d、k、g)

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同，其中 TVL₁、TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。预测点位的泄漏辐射剂量率估算结果如表 11.3-6 所示。

表 11.3-6 预测点位泄漏辐射剂量率估算结果

参数	侧屏蔽墙			
	c 点	d 点	k 点 (迷道外墙)	g 点 (迷道内墙)
射线路径	O-c	O-d	O ₂ -k	O ₁ -g
屏蔽材料	混凝土	混凝土	混凝土	混凝土
设计厚度 X (cm)	160	150+100	150	150
斜射角 θ (°)	0	0	0	30
有效厚度 X _e (cm)	160	250	150	173.2
距离 R (m)	5.9	7.0	10.1	9.6
\dot{H}_0 (μSv.m ² /h)	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸	3.6×10 ⁸
f	0.001	0.001	0.001	0.001
B	9.28×10 ⁻⁶	1.16×10 ⁻⁸	1.95×10 ⁻⁵	3.48×10 ⁻⁶
TVL ₁ (cm)	35	35	35	35
TVL (cm)	31	31	31	31
H(μSv/h)	9.60×10 ⁻²	8.52×10 ⁻⁵	0.07	0.01
导出剂量控制限值 (μSv/h)	9.5	2.5	2.5	1.4
是否满足要求	满足	满足	满足	满足

(3) 泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果 (a₁/a₂、b₁/b₂、m₁/m₂)

① 泄漏辐射剂量估算

泄漏辐射剂量估算方法与有用线束相同，其中 TVL_l 、 TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

②患者一次散射辐射的剂量估算

首先按式 11.3-4 计算有效厚度 $X_e(\text{cm})$ ，接着按式 11.3-5 估算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按式 11.3-7 计算辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 $\dot{H}(\mu\text{Sv/h})$ 。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot a_{ph} \cdot (F/400)}{R_s^2} \cdot B \quad (\text{式 11.3-7})$$

式中：

\dot{H}_0 ——加速器有用线束中心轴上距产生治疗 X 射线束的靶 1m 处的常用最高剂量率， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；取值为 $3.6\times 10^8\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$ ；

a_{ph} ——患者 400cm^2 面积上垂直入射 X 射线散射至距其 1m（关注点方向）处的剂量比例，又称 400cm^2 面积上的散射因子；

F ——治疗装置有用线束在等中心处的最大治疗野面积， cm^2 ；

R_s ——患者(位于等中心点)至关注点的距离，m；

B ——屏蔽物质的屏蔽透射因子。

泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测如表 11.3-7 所示。

表 11.3-7 泄漏辐射和患者一次散射的屏蔽效果预测

参数	南墙 (a_1/a_2)		北墙 (b_1/b_2)		顶棚 (m_1/m_2)	
	O- a_1/a_2	O ₁ -O- a_1/a_2	O- b_1/b_2	O ₂ -O- b_1/b_2	O- m_1/m_2	O ₃ -O- m_1/m_2
射线路径	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射
辐射类型	泄漏	散射	泄漏	散射	泄漏	散射
设计厚度 X (cm)	180	180	180	180	160	160
有效厚度 $X_e(\text{cm})$	208	208	208	208	185	185
R (m)	8.1	8.1	8.1	8.1	5.2	5.2
\dot{H}_0 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{h}$)	3.6×10 ⁸					
a_{ph}	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³	/	3.18×10 ⁻³
F (cm^2)	/	1600	/	1600	/	1600
f	0.001	/	0.001	/	0.001	/
斜射角 θ	30	30	30	30	30	30
TVL_l (cm)	35	28	35	28	35	28
TVL (cm)	31	28	31	28	31	28
B	2.66×10 ⁻⁷	3.78×10 ⁻⁸	2.66×10 ⁻⁷	3.78×10 ⁻⁸	1.48×10 ⁻⁶	2.52×10 ⁻⁷
$H(\mu\text{Sv/h})$	1.46×10 ⁻³	2.63×10 ⁻³	1.46×10 ⁻³	2.63×10 ⁻³	1.97×10 ⁻²	0.04

	4.09×10 ⁻³		4.09×10 ⁻³		0.06	
H _c (μSv/h)	1.9	5	0.2	1.25	4.8	5
是否满足要求	满足	满足	满足	满足	满足	满足

(4) 迷路内墙和防护门屏蔽效果 (g)

①迷路内墙

g 点的泄漏辐射剂量率估算方法与有用线束相同, 其中 TVL_l、TVL 为附录 B 表 B.1 的泄漏辐射值。

②防护门屏蔽效果

当给定防护门屏蔽厚度 X 时, 防护门 30cm 处的辐射剂量率 \dot{H} (μSv/h) 按公式 11.3-8 计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{TVL}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11.3-8})$$

经屏蔽后防护门外 30cm 处的散射辐射剂量率 \dot{H} 如表 11.3-8 所示。

表 11.3-8 经屏蔽后防护门外的散射辐射剂量率计算结果

机房名称	直线加速器机房
X (cm)	1.5 铅+12 硼化聚乙烯板
TVL (cm)	0.5
\dot{H}_g (μSv/h)	24.29
\dot{H}_{og} (μSv/h)	0.01
\dot{H} (μSv/h)	0.04

(5) 预测计算汇总及评价

直线加速器机房墙、顶、门外关注点处辐射剂量率估算结果汇总见表 11.3-9。

表 11.3-9 各关注点剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	预测剂量率 (μSv/h)	剂量率参考控制水平值 (μSv/h)	是否满足控制要求
a	东墙 (主屏蔽墙) 外 30cm 处, 即负二层车库	0.05	2.5	满足
b	西墙 (主屏蔽墙) 外 30cm 处, 即后装机房	5.23×10 ⁻²	2.4	满足
a ₁	东墙 (次屏蔽区) 外 30cm 处, 即负二层车库	4.09×10 ⁻³	2.5	满足
a ₂	东墙 (次屏蔽区) 外 30cm 处, 即负二层车库	4.09×10 ⁻³	2.5	满足
b ₁	西墙 (次屏蔽区) 外 30cm 处, 即后装机房	4.09×10 ⁻³	1.45	满足
b ₂	西墙 (次屏蔽区) 外 30cm 处, 即后装机房	4.09×10 ⁻³	1.45	满足
c	北墙 (次屏蔽墙) 外 30cm 处, 即土层	9.60×10 ⁻²	9.5	满足
d	南墙外 30cm 处, 即控制室	8.52×10 ⁻⁵	2.5	满足
k	南墙外 30cm 处, 即水冷机房	0.07	2.5	满足
g	加速器机房防护门外 30cm 处, 准备区	0.04	2.5	满足
m	机房顶部 (主屏蔽墙) 30cm 处, 即封闭空间	0.07	10	满足
m ₁	机房顶部 (次屏蔽墙) 30cm 处, 即封闭空间	0.06	9.8	满足

m ₂	机房顶部（次屏蔽墙）30cm 处，即封闭空间	0.06	9.8	满足
----------------	------------------------	------	-----	----

通过上表可以看出，本项目加速器机房的辐射屏蔽措施能够使机房外的辐射剂量率满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）相应的剂量率参考控制水平。

13.3.3 年有效剂量预测分析

工作负荷：参考典型加速器工作工作负荷，本项目加速器年出束时间为 210h。根据各关注点的剂量率，对直线加速器机房工作人员及周围的公众人员进行年有效剂量估算。

①关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff} = Dr \times t \times T \times U \dots \dots \dots (11.3-9)$$

式中：

D_{Eff} ——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr ——辐射剂量率，Sv/h；

t ——年工作时间，h；

T ——居留因子；

U ——使用因子，线束向关注点照射的使用因子，U取1。

②机房外职业人员和周围公众人员可能接受的最大辐射年有效剂量见下表：

表 11.3-15 电子直线加速器辐射工作人员及公众年受照剂量估算结果

机房	关注点	辐射剂量率 (μ Sv/h)	t (h/a)	U	与关注点 距离(m)	T	年受照剂 量(mSv)	备注
直线加速 器机房	a 点（负二层 地下车库）	0.05	210	1	0	1/16	6.56×10^{-4}	公众
	b 点 （后装机房）	5.23×10^{-2}	210	1	0	1/2	5.49×10^{-3}	公众
	d 点（控制室）	8.52×10^{-5}	210	1	0	1	1.79×10^{-5}	职业
	k 点 （水冷机房）	0.07	210	1	0	1	0.015	职业
	g（防护门外）	0.04	210	1	0	1/4	0.002	公众
	m（室外绿化）	0.07	210	1	1.4	1/16	4.69×10^{-4}	公众

注：加速器顶棚上方为封闭空间，封闭空间覆土外为地面绿化，距离机房顶棚约 1.4m，不考虑垫层的防护。

从估算结果可看出，加速器机房工作人员的职业照射年有效剂量最大估算值约为 0.015mSv，低于工作人员的职业照射年有效剂量约束值不超过 5mSv；加速器机房公众的年有效剂量最大估算值 0.005mSv，同样低于公众照射年剂量约束值不超过 0.1mSv，

对周围环境的辐射影响是可以接受的，能满足相关辐射标准要求。由于剂量率与距离的平方成反比，因此加速器机房边界外 50m 范围内其他公众人员年有效剂量同样可以满足剂量约束值要求。

13.3.4 电子线和感生放射性影响分析

本项目加速器最大 X 射线能量为 10MV，电子线最大能量为 15MeV，由于电子束的穿透能力远小于 X 射线，对治疗 X 射线的屏蔽机房完全满足屏蔽电子束的要求。电子束治疗时，平均束流为 nA 量级，X 射线治疗时平均束流为 μA 量级，治疗电子束所产生的韧致辐射远小于 X 射线治疗时的辐射，即使电子能量大于治疗 X 射线的最大能量，对屏蔽电子束的韧致辐射所需要的厚度也低于对于 10MV X 射线的屏蔽要求。

活化空气中感生放射性主要为 ^{15}O 和 ^{13}N ，产生的量都较小，这些核素的半衰期分别为 2.min、10min，在短时间内，便可衰变到可忽略的水平。加速器机房内设置机械通风系统，通风次数不低于 10 次/h，能将感生放射性气体和臭氧等有害气体及时排出治疗室外，且每次治疗结束后后继续通风 3-5min 时间后，工作人员才进入进行下一次的治理，因此感生放射性对工作人员的影响可忽略。

13.3.5 放射性固废环境影响分析

加速器更换的废靶由设备厂家回收处理。回收时按《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）的要求，对废靶表面 γ 辐射空气吸收剂量率进行监测，因此不会对周围环境产生污染。

13.3.6 臭氧影响分析

本项目直线加速器运营期间会有臭氧和少量氮氧化物产生，氮氧化物产生额约为臭氧的 1/3。参照《辐射防护手册》（第三分册）（P130），电子加速器运行时臭氧的产生率按下式计算：

$$C_{O_3} = 3.25 \times \left[\frac{S_{coj} \times I \times t \times d}{v} \right] \times 10^{-3} \quad (\text{式 11.3-10})$$

式中：

C_{O_3} ——臭氧生产浓度，ppm；

S_{coj} ——电子在空气中的线碰撞阻止本领，与电子能量相关，取 3.0keV/cm；

I ——器外电子束流强度，mA；本项目保守取 0.1mA；

d ——器外电子束在空气中所通过的距离，cm；取 100cm；

t ——辐照时间，s；单人次取 60s；

v ——加速器机房容积， m^3 ，约为 $290m^3$ ；

由上式计算出本项目直线加速器在无通风、臭氧无分解条件下照射一个病人臭氧的浓度为： $C_{O_3}=0.02ppm$ ($0.04mg/m^3$)，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 $0.3mg/m^3$ 的要求。

加速器机房设置有机械通排风，通风量为 $3000m^3/h$ ，通风换气次数不小于 10 次/h，机房内废气经风机能够满足《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）中“治疗室通风换气次数应不小于 4 次/h”的要求，经通风换气后加速器机房内产生的臭氧和氮氧化物对周围环境影响不大。

11.4 放疗科后装机营运期环境影响分析

11.4.1 后装机机房屏蔽计算参数选取

本项目治疗时假设放射源全部被传送至施源器，则辐射环境影响预测时保守将其视为点源来预测计算，本评价主要考虑放射源发射的 γ 射线（即初级辐射）对墙和治疗室顶的直接照射及其散射辐射在机房入口处的照射，评价采用《放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 3 部分： γ 射线源放射治疗机房》（GBZ/T201.3-2014）中推荐的公式进行辐射屏蔽估算。

（1）后装机基本参数

本项目拟建设 ^{192}Ir 后装机 1 台，根据医院提供的资料，该后装机的技术参数如表 11.4-1 所示。

表 11.4-1 后装机的技术参数

核素	活度 (Bq)	γ 射线能量均值	空气比释动能率常数 K_r	源距地面高度	每天治疗人次	每人每次照射时间
^{192}Ir	3.7×10^{11}	0.37MeV	0.111 $\mu Sv/(h \cdot MBq)$	1.0m	15 人次	6min

（2）关注点的选取

由于医院尚未确定后装机在机房中的具体摆放位置，本评价按后装机在机房内对外环境影响最大的位置进行预测估算，因此将治疗室内侧墙体 1.5m 处为治疗源可能的使用区域，即图 11.4-1 中矩形框线区域，该区域边界线位置即为对外环境影响最大的位置。根据本项目后装机机房周围环境状况分析，在机房外设置 6 个关注点，分布图见图 11.4-1 及图 11.4-2，关注点描述如下：

a：南墙外 30cm 处，控制室；

- b: 西墙外 30cm 处，后楼梯间；
- c: 北墙外 30cm 处，土层；
- d: 东墙外 30cm 处，加速器机房；
- g: 防护门外 30cm 处，准备区；
- f: 顶棚外 30cm 处，设备库房。

医院应在后装机治疗室地面进行划线标示，后装治疗应严格控制放射源使用位置，不得超出该区域。

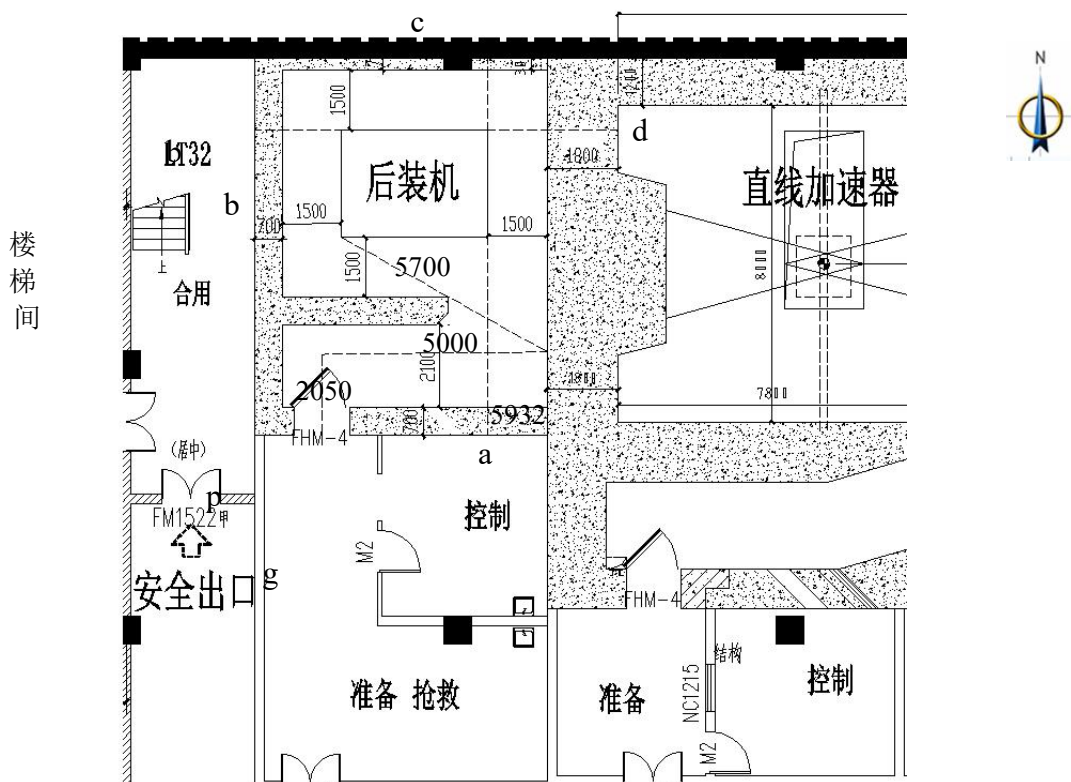


图 11.4-1 后装机机房外预测关注点图 (平面, 单位 mm)

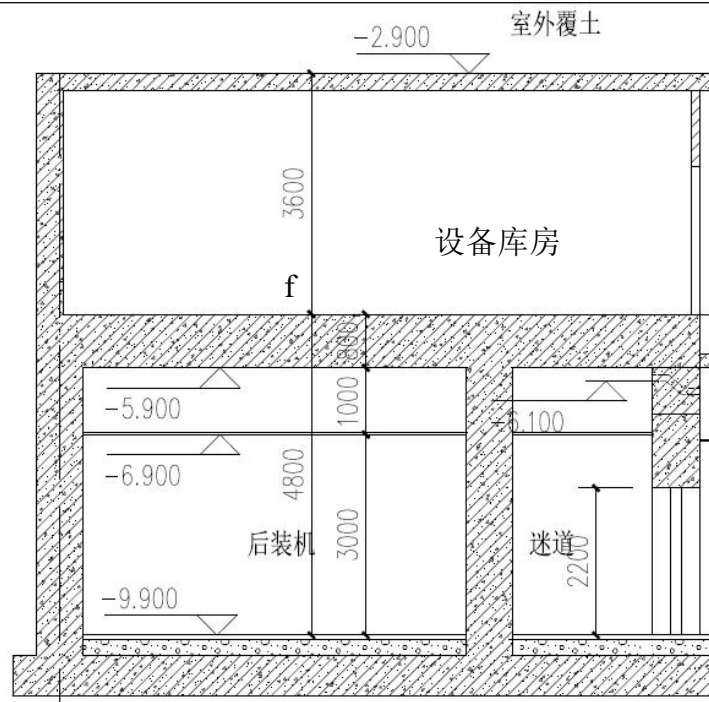


图 11.4-2 后装机机房顶棚预测关注点图（剖面，单位 mm）

（3）后装机房外关注点的导出剂量率参考控制水平

根据《放射治疗机房的屏蔽规范第3部分：放射源放射治疗机房》(GBZ/T201.3-2014)中确定治疗机房墙外和防护门外关注点的剂量率参考控制水平 \dot{H}_c 的方法来求得各关注点的剂量率参考控制水平 $\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv/h}$)。

本项目后装治疗系统投入使用后预计平均每天治疗工作量15人，治疗照射时间为6min/人次，周工作负荷（治疗照射时间） $t=7.5$ 小时/周。

由 GBZ/T201.3-2014 附录 A，关注点的导出剂量率控制水平为：

$$\dot{H}_{c,d} = H_c / (t \cdot U \cdot T) \quad (\text{式 } 11.4-1)$$

式中：

H_c ——周参考剂量控制水平， $\mu\text{Sv/周}$ ；

t ——治疗装置周治疗照射时间，h；

U ——关注位置方向的使用因子；

T ——人员在相应关注点驻留的居留因子。

上述导出的剂量率参考控制水平 H_c 与按人员居留因子确定的关注点剂量率参考控制水平，取其较小者为关注点剂量率参考控制水平。各关注点辐射剂量率参考控制水平见表 11.4-2。

表 11.4-2 后装机房各关注点辐射剂量率参考控制水平

关注点	点位描述	H_c ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	t (h)	使用因子 U	居留因子 T	$\dot{H}_{c,d}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	$\dot{H}_{c,\text{max}}$ ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	最终取值 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
a	南墙外 30cm 处， 即控制室	100	7.5	1	1	13.3	2.5	2.5
b	西墙外 30cm 处， 即楼梯间	5	7.5	1	1/16	10.7	10	2.5
c	北墙外 30cm 处， 土层	5	7.5	1	1/16	10.7	10	10
d	东墙外 30cm 处， 即加速器机房	5	7.5	1	1/2	1.3	2.5	1.3
g	防护门外 30cm 处，即准备区	5	7.5	1	1/4	2.7	10	2.5
f	顶盖上方 30cm 处，设备库房	5	7.5	1	1/16	10.7	10	2.5

注：保守考虑，在有人员可到达区域，导出剂量率控制值大于 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 时，均取 $2.5\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。

11.4.2 后装机房屏蔽体的屏蔽效果分析

(1) 墙体外初级辐射的影响预测

在给定屏蔽物质厚度 X (mm) 时，按 (式 11.4-2) 计算有效厚度 X_e (mm)，按 (式 11.4-3) 计算屏蔽物质的屏蔽透射因子 B ，再按 (式 11.4-4) 计算相应辐射在屏蔽体外关注点的剂量率 \dot{H} ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)。

$$X_e = X \cdot \sec \theta \quad (\text{式 11.4-2})$$

式中：

X_e ——有效屏蔽厚度，cm；

X ——屏蔽厚度，cm；

θ ——斜射角，即入射线与屏蔽物质平面的法线的夹角。

$$B = 10^{-(X_e + TVL - TVL_1)/TVL} \quad (\text{式 11.4-3})$$

式中：

B ——辐射屏蔽透射因子；

X_e ——有效屏蔽厚度，mm；

TVL ——辐射在屏蔽物质中的平衡什值层厚，mm；

TVL_1 ——辐射在屏蔽物质中的第一个什值层厚度，mm，当未指明 TVL_1 时， $TVL_1=TVL$ ，查 GBZ/T201.3-2014 表 C.1， ^{192}Ir 在混凝土中 TVL 为 152mm，在铅中 TVL 为 16mm。

$$\dot{H} = \frac{\dot{H}_0 \cdot f}{R^2} \cdot B \quad (\text{式 11.4-4})$$

式中:

\dot{H} ——关注点剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

\dot{H}_0 ——活度为 A 的放射源在距其 1m 处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

R ——辐射源至关注点的距离, m;

f ——对有用线束为 1。

(2) 铅门外关注点剂量率计算

铅门外关注点的辐射剂量率按下式计算:

$$\dot{H} = \dot{H}_g \cdot 10^{-\left(\frac{X}{\text{TVL}}\right)} + \dot{H}_{og} \quad (\text{式 11.4-5})$$

式中: X—屏蔽体厚度, mm;

\dot{H}_g —g 点处的剂量率, $\mu\text{Sv/h}$;

TVL—辐射在屏蔽体的什值层厚度, 铅门外 g 点处的散射辐射能量约 0.2MeV, TVL 值取 5mm。

根据后装机机房的平面布置图, 得出放射源到各关注点的距离 R。再使用公式计算出治疗机房外各关注点的辐射剂量率水平, 计算参数和结果见表 11.4-3。

表 11.4-3 后装机关注点初级辐射剂量率的预测结果

关注点	点位描述	辐射类型	混凝土厚度 (mm)	$\theta(^{\circ})$	R (m)	f	TVL ₁ (mm)	TVL (mm)	预测值 \dot{H} (Sv/h)
g	防护门外 30cm 处, 准备区	初级	700	0	5.3	1	152	152	0.13
		散射	10mm (铅门)	/	R1=5.93 R2=7.75	/	5	5	
a	南墙外 30cm 处, 控制室	初级	700	0	5.3	1	152	152	0.04
b	西墙外 30cm 处, 楼梯间	初级	700	0	2.5	1	152	152	0.16
c	北墙外 30cm 处, 土层	初级	700	0	2.5	1	152	152	0.16
d	东墙外 30cm 处, 加速器机房	初级	1800	0	3.6	1	152	152	4.56×10^{-9}
f	顶盖上方 30cm 处, 设备库房	初级	800	0	3.6	1	152	152	0.08

(3) 预测结果及评价

后装机治疗机房外的剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较如表 11.4-4 所示。

表 11.4-4 剂量率预测结果与剂量率参考控制水平比较

关注点	点位描述	辐射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	剂量率参考控制 水平值 ($\mu\text{Sv/h}$)	是否满足控制 要求
g	防护门外 30cm 处, 候诊区	0.13	2.5	满足
a	南墙外 30cm 处, 控制室	0.04	2.5	满足
b	西墙外 30cm 处, 楼梯间	0.16	2.5	满足
c	北墙外 30cm 处, 土层	0.16	10	满足
d	东墙外 30cm 处, 加速器机房	4.56×10^{-9}	1.3	满足
f	顶盖上方 30cm 处, 设备库房	0.08	2.5	满足

11.4.3 工作人员及公众个人剂量估算

①后装机房外个人有效剂量估算

本项目后装机治疗室外关注点处人员年有效剂量按 (式 11.3-19) 计算, 计算参数和计算结果见表 11.4-5。

表 11.4-5 人员年有效剂量计算结果

保护目标	关注点	居留 因子	与关注 点距离 (m)	关注点辐射 剂量率估算 值 ($\mu\text{Sv/h}$)	受照 时间 (h)	年有效剂 量 (mSv)	年剂量管 理限值 (mSv)	评价 结论
南侧控制室	b	1	/	0.04	375	0.015	5	符合
南侧候诊区公众	a	1/4	0	0.13		0.012	0.1	符合
西侧楼梯间公众	b	1/16	0	0.16		3.75×10^{-3}	0.1	符合
东侧加速器机房	d	1/2	0	4.56×10^{-9}		8.55×10^{-10}	0.1	符合
顶棚设备库房公 众	d	1/16	/	0.08		1.88×10^{-3}	0.1	符合

从上表可以看出, 保守估算正常运行所致工作人员年有效剂量最大值为 0.05mSv, 满足工作人员剂量约束值不大于 5mSv/a 的要求; 所致公众年有效剂量最大值为 0.012mSv, 满足公众剂量约束值不大于 0.1mSv/a 的要求。从预测计算结果可知, 后装机运行期间, 对周围工作人员和公众的辐射影响较小, 满足评价标准的要求。由于剂量率与距离的平方成反比, 因此后装机机房边界外 50m 范围的其他公众人员年有效剂量也可以满足公众剂量约束值不大于 0.1mSv/a 的要求。

②进入放射治疗室内的辐射工作人员受照剂量

由于辐射工作人员需要进入后装机治疗室内协助患者进行摆位, 在摆位过程中会受到放射源的照射, 同时会受到加速器机房的照射影响。

辐射工作人员进入治疗室之前, 必须确保放射源处于后装机的贮源器中, 并穿戴防

护用品、佩戴个人剂量报警仪进入机房。辐射工作人员协助患者摆位时在治疗室内的停留时间按 2min 计，与工作贮源器的平均距离按 1m 考虑。参考《后装 γ 源近距离治疗卫生防护要求》（GBZ121-2017）中“4.2.2 工作贮源器内装载最大容许活度时，距离贮源器表面 100cm 处的球面上，任何一点的泄漏辐射所致周围剂量当量率不大于 $5\mu\text{Sv/h}$ ”的要求，以该泄漏辐射的剂量率限值作为辐射工作人员工作位的最大辐射剂量率进行计算，则辐射工作人员全年摆位过程所受的个人剂量：

$$E=D\times t=5\mu\text{Sv/h}\times 10^{-3}\times 2\text{min}\times 1/60\times 15\text{人/天}\times 250\text{d/a}=0.63\text{mSv/a}.$$

由表 11.4-7 可知，辐射工作人员在控制位所受照射剂量为 0.015mSv/a ，考虑到摆位和控制室工作人员可能的重复性，同时控制室工作人员受到南侧加速器机房照射剂量贡献值为 $5.23\times 10^{-2}\mu\text{Sv/h}\times 125\text{h}=0.007\text{mSv/a}$ ，则本项目后装机治疗辐射工作人员所受照射的年有效剂量为 $0.015+0.63+0.007=0.652\text{mSv/a}$ ，满足工作人员年剂量约束值不大于 5mSv 的要求。

当放射源在后装机的贮源器内时，泄露辐射剂量率较小，相对于出源治疗时对治疗室外周围环境保护目标的影响很小，可忽略不计。

综上，该后装机正常运行期间，对周边环境中的辐射工作人员和公众的辐射影响均能满足评价标准的要求。

③更换放射源过程中的环境影响分析

本项目后装机使用 1 枚放射源 ^{192}Ir ，其半衰期为 74 天。根据医院诊疗计划，本项目放射源使用达到 1.5 个半衰期时需更换，即 111 天更换一次，每年更换 3 次，产生 3 枚废放射源。更换放射源之前院方将先到当地生态环境主管部门进行备案，待备案完成后联系厂家进行放射源的更换，由厂家安排换源及换源后的整机调试。贮源容器供运输和使用时贮存放射源，更换放射源时，厂家使用新的贮源容器运输放射源至医院后装机治疗室内，连同贮源容器一起置换，即换源的过程就是贮源容器的置换过程，退役的放射源连同原贮源容器一起运输至设备厂家进行回收处置。更换放射源全程由厂家专业人员按国家相关规定负责操作完成，医院工作人员不直接参与放射源的更换操作，仅监督辅助厂家专业人员按国家相关规定进行更换操作，因此，更换放射源时对控制室内人员及机房周围的辐射环境影响较小，可满足本项目评价标准的要求。

④运输通道合理性分析：医院放疗科设置有专用的电梯和楼梯通向负二层的放疗工作场所，运送人员通过楼梯间 5min 内便可到达后装机治疗室，所需时间较短，对医院

病人的辐射影响很小。根据计算可知，周围人员受到的辐射剂量小于限值，在运输车辆到达前，医院提前疏导人员，尽可能减少对人员的照射。综上，医院内放射源运输时间较短，对病人的辐射影响很小，对运输通道周围人员的辐射剂量小于管理限值，因此放射源运输通道设置合理。

11.4.4 放射性废物环境影响分析

本项目更换的废 ^{192}Ir 放射源由供应单位回收，不在本项目工作场所内存放，不存在废放射源对周边环境的影响。

11.4.5 臭氧环境影响分析

本项目后装治疗机在治疗过程中会产生臭氧，根据《辐射防护手册（第三分册）》， γ 辐照室空气中臭氧的产额可由下式进行计算：式中：

$$Q_0 = 6.33 \times 10^{-4} AGV^{1/3} \quad (\text{式 11.4-6})$$

Q_0 —臭氧的辐射化学产额，mg/h；

A—放射源的活度，Ci，本项目 ^{192}Ir 放射源总活度为 10Ci；

G—空气每吸收 100eV 辐射能量所产生的臭氧分子数，取 6；

V—治疗室体积， m^3 ，本项目后装机治疗室体积为 115m^3 ；

由此计算后装机治疗室臭氧的产额为 0.18mg/h 。

室内臭氧浓度由下式计算：

$$C = Q_0 \times T_v / V \quad (\text{式 11.4-7})$$

式中：C—室内臭氧浓度， mg/m^3 ；

T_v —臭氧有效清除时间，h；

V—治疗室内空间体积；

$$T_v = t_v \times t_a / (t_v + t_a) \quad (\text{式 11.4-8})$$

式中： t_v —换气一次所需时间，h，后装机治疗室换气频率为 13 次/h，则换气一次需时约为 0.08h

t_a —臭氧分解时间，h，此处取 50min。

由此计算后装机治疗室内臭氧的浓度为 $1.14 \times 10^{-4} \text{mg}/\text{m}^3$ ，能够满足《工作场所有害因素职业接触限值第 1 部分：化学有害因素》中臭氧最高允许浓度 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 的要求。

后装机房内的废气经机房内通排风系统排出机房后对周围环境影响不大。

11.5 介入中心 DSA 运行期影响分析

11.5.1 DSA 机房外剂量率估算

本项目DSA射线装置额定参数均为管电压125kV，管电流1250mA。由于现有DSA机房与项目新建DSA机房防护水平无可比性，因此为了分析DSA装置建成投入运行后对周围工作人员所造成的影响，本次采用理论计算进行预测。

根据医院提供资料，DSA设备参数与运行最大工况、机房防护情况如表11.5-1。

表11.5-1 本项目DSA设备参数与工况及防护情况

设备		DSA
技术参数		管电压 125kV/管电流 1250mA
工况模式	摄影	电压 100kV/电流 500mA
	透视	电压 80kV/电流 20mA
防护设施	四周墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料(3mmPb)
	防护门	内衬 4.0mm 铅板(4mmPb)
	观察窗	4mmPb铅玻璃(4mmPb)
	顶棚	200mm混凝土(2.5mmPb)
	地坪	200mm混凝土(2.5mmPb)
	设备辅助防护用品	0.5mmPb
	医生	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品(0.5mmPb)、介入防护手套(0.025mmPb)

取医生手术位、控制室操作位、各防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 处、楼上离地 100cm 处、楼下离地 170cm 处为预测点位。

本项目 DSA 设备主射方向向上，介入手术过程中，DSA 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节（Primary Barriers, P41-45）及 5.1 节（Cardiac Angiography, P72）指出，屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此设备运行时，医生操作位、机房的墙壁、地坪、防护门及铅玻璃窗，仅受到病人体表散射辐射和泄漏辐射影响。

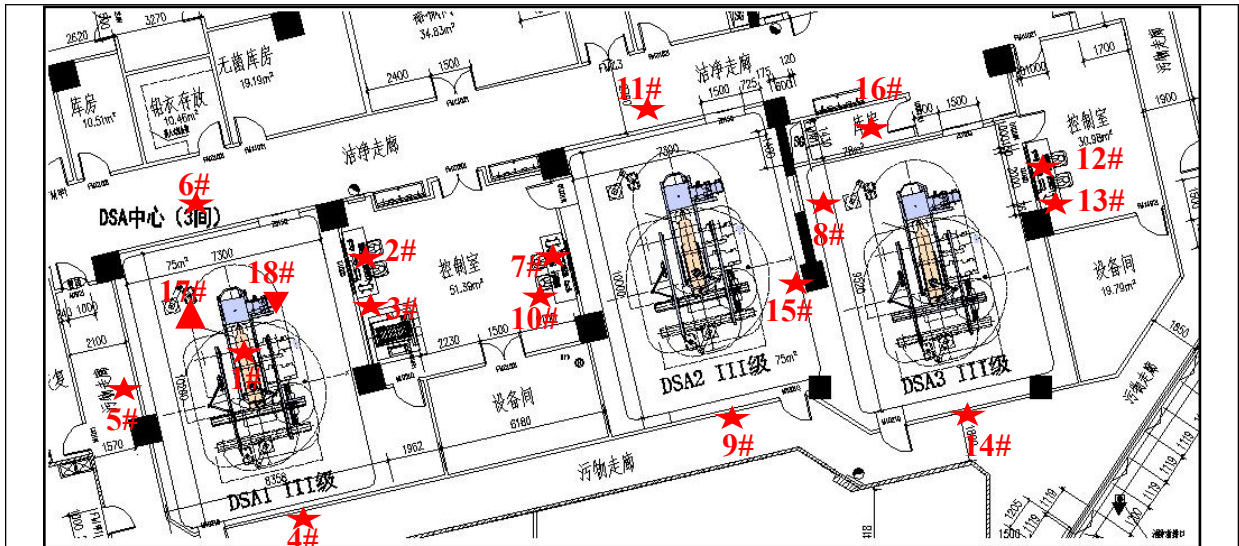


图 11.5-1 DSA 机房预测关注点位示意图

以下公式根据李德平、潘自强主编《辐射防护手册》（第一分册—辐射源与屏蔽）中公式（10.8）、（10.9）、（10.10）等公式演化而来。

①病人体表散射屏蔽估算

$$H_s = \frac{H_0 \cdot a \cdot B \cdot (s/400)}{(d_0 \cdot d_s)^2} \quad (\text{式 11.5-1})$$

式中：

H_s ----预测点处的散射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 ----距靶 1m 处初级 X 射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；根据《辐射防护导论》附图 3 可知，X 射线过滤材料为 0.5mmCu，100kV 电压下，发射率常数为 $1.7(\text{mGy} \cdot \text{m}^2) / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ，80kV 电压下，发射率常数为 $0.7(\text{mGy} \cdot \text{m}^2) / (\text{mA} \cdot \text{min})$ ；则减影工况距靶点 1m 处的最大剂量率为 $5.1 \times 10^7 \mu\text{Gy/h}$ ，透视工况距靶点 1m 处的最大剂量率为 $8.4 \times 10^5 \mu\text{Gy/h}$ 。

α ----患者对 X 射线的散射比；根据《辐射防护手册》（第一分册）表 10.1 查表取 0.0013；

s ----散射面积， cm^2 ，取 100cm^2 ；

d_0 ----源与病人的距离，m，取 0.8m；

d_s ----病人与预测点的距离，m；

②泄漏辐射剂量估算

各预测点的泄漏辐射剂量率可用式 11.5-2 进行计算。

$$H_L = \frac{H_0 \cdot B}{d^2} \quad (\text{式 11.5-2})$$

式中：

H_L —预测点处的泄漏辐射剂量率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

H_0 —距靶 1m 处的泄漏辐射在空气中的比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ，根据《医用电气设备 第 1 部分：安全通用要求 三.并列标准 诊断 X 射线设备辐射防护通用要求》（GB9706.12-1997），本项目取 1mGy/h ；

d —靶点距关注点的距离，m；

B —屏蔽透射因子，按照式（11.5-3）计算。其中： α 、 β 、 γ —屏蔽材料对 100kV 管电压 X 射线泄漏辐射衰减的有关的三个拟合参数。

③B 屏蔽透射因子

B —屏蔽透射因子，按照《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）附录C中公式和参数计算，公式计算如下式：

$$B = \left[\left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \right) e^{\alpha \gamma X} - \frac{\beta}{\alpha} \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \quad (11.5-3)$$

式中：

B —屏蔽透射因子；

X —屏蔽材料厚度，mm；

α 、 β 、 γ —屏蔽材料对一定管电压X射线散射辐射衰减的有关的三个拟合参数。

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11.5-2。

表 11.5-2 100kV 减影工况时 DSA 机房散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
控制室操作位	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mm	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 4mm 铅板	4.0mm	2.507	15.33	0.9124	5.14×10^{-6}
机房四侧墙体	240mm 实心砖+20mm 硫酸钡防护涂料	3.0mm	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	2.507	15.33	0.9124	2.22×10^{-4}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	2.507	15.33	0.9124	2.22×10^{-4}

表 11.5-3 100kV 减影工况下 DSA 机房泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
控制室操作位	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mm	2.5	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
防护门外 30cm 处(控制室)	内衬 4mm 铅板	4.0mm	2.5	15.28	0.7557	3.39×10^{-6}
四侧墙体外 30cm 处	240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡防护涂料	3.0mm	2.5	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	2.5	15.28	0.7557	1.45×10^{-4}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	2.5	15.28	0.7557	1.45×10^{-4}

表 11.5-4 80kV 透射工况下 DSA 机房各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	屏蔽厚度	α	β	γ	B
第一术者位(身体)	0.5mmPb 铅衣 +0.5mm 铅屏风	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
第一术者位(手部)	0.025mmPb 铅手套	0.025mm Pb	3.067	18.83	0.7726	0.63
第一术者位(眼部)	0.5mmPb 铅眼镜	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
第二术者位	0.5mmPb 铅衣	0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
控制室操作位	4.0mmPb 铅玻璃	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
防护门外 30cm 处(控制室)	4mm 铅板	4.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.69×10^{-7}
四侧墙体外 30cm 处	240mm 实心砖 +20mm 硫酸钡防护涂料	3.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	3.067	18.83	0.7726	3.68×10^{-5}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝土	2.5mm	3.067	18.83	0.7726	3.68×10^{-5}

注：根据GBZ130，无80kV管电压下拟合参数，保守按90kV计算。

散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果列表见表11.5-5。

表 11.5-5 散射辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	α	s	d_0	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$	/	cm^2	m	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#DSA1 控制室操作位	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	5.14×10^{-6}	6.38×10^{-3}
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处(控制室)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	7.72×10^{-2}
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处(污物走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.7	6.31×10^{-5}	5.03×10^{-2}
	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处(污物走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	7.72×10^{-2}
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处(洁净走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.7	6.31×10^{-5}	5.03×10^{-2}

	7#DSA2 控制室操作位	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.7	5.14×10^{-6}	6.11×10^{-3}
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.7	6.31×10^{-5}	7.40×10^{-2}
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.7	6.31×10^{-5}	5.03×10^{-2}
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.7	6.31×10^{-5}	7.40×10^{-2}
	11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.7	6.31×10^{-5}	5.03×10^{-2}
	12#DSA3 控制室操作位	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	5.14×10^{-6}	6.38×10^{-3}
	13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	7.72×10^{-2}
	14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.4	6.31×10^{-5}	5.61×10^{-2}
	15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	7.72×10^{-2}
	16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	5.4	6.31×10^{-5}	5.61×10^{-2}
	17#楼上离地 100cm 处	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.8	2.22×10^{-4}	2.49×10^{-1}
	18#楼下离地 170cm 处	5.1×10^7	0.0013	100	0.8	4.8	2.22×10^{-4}	2.49×10^{-1}
透视	1#第一术者位 (身体)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	0.3	4.08×10^{-3}	19.3
	1#第一术者位 (手部)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	0.6	0.63	742.0
	1#第一术者位 (眼部)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	0.5	2.52×10^{-2}	42.9
	1#第二术者位	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	0.9	2.52×10^{-2}	13.2
	2#DSA1 控制室操作位	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	3.69×10^{-7}	7.44×10^{-6}
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	1.60×10^{-4}
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.7	7.93×10^{-6}	1.04×10^{-4}
	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	1.60×10^{-4}
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.7	7.93×10^{-6}	1.04×10^{-4}
	7#DSA2 控制室操作位	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.7	3.69×10^{-7}	7.13×10^{-6}
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.7	7.93×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.7	7.93×10^{-6}	1.04×10^{-4}
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.7	7.93×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.7	7.93×10^{-6}	1.04×10^{-4}
12#DSA3 控制室操作位	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	3.69×10^{-7}	7.44×10^{-6}	

13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	1.60×10^{-4}
14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.4	7.93×10^{-6}	1.16×10^{-4}
15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	1.60×10^{-4}
16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	5.4	7.93×10^{-6}	1.16×10^{-4}
17#楼上离地 100cm 处	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.8	3.68×10^{-5}	6.82×10^{-4}
18#楼下离地 170cm 处	8.4×10^5	0.0013	100	0.8	4.8	3.68×10^{-5}	6.82×10^{-4}

各预测点位泄漏辐射剂量计算参数及结果见下表11.5-6。

表 11.5-6 泄漏辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	d	B	H_L
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#DSA1 控制室操作位	1×10^3	4.6	3.39×10^{-6}	1.60×10^{-4}
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1×10^3	5.7	4.14×10^{-5}	1.27×10^{-3}
	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1×10^3	5.7	4.14×10^{-5}	1.27×10^{-3}
	7#DSA2 控制室操作位	1×10^3	4.7	3.39×10^{-6}	1.53×10^{-4}
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	1×10^3	4.7	4.14×10^{-5}	1.87×10^{-3}
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1×10^3	5.7	4.14×10^{-5}	1.27×10^{-3}
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1×10^3	4.7	4.14×10^{-5}	1.87×10^{-3}
	11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1×10^3	5.7	4.14×10^{-5}	1.27×10^{-3}
	12#DSA3 控制室操作位	1×10^3	4.6	3.39×10^{-6}	1.60×10^{-4}
	13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1×10^3	5.4	4.14×10^{-5}	1.42×10^{-3}
	15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1×10^3	5.4	4.14×10^{-5}	1.42×10^{-3}
	17#楼上离地 100cm 处	1×10^3	4.8	1.45×10^{-4}	6.31×10^{-3}
	18#楼下离地 170cm 处	1×10^3	4.8	1.45×10^{-4}	6.31×10^{-3}
	透视	1#第一术者位 (身体)	1×10^3	0.3	4.08×10^{-3}

1#第一术者位（手部）	1×10^3	0.6	0.63	1739.4
1#第一术者位（眼部）	1×10^3	0.5	2.52×10^{-2}	101
1#第二术者位	1×10^3	0.9	2.52×10^{-2}	31.1
2#DSA1 控制室操作位	1×10^3	4.6	3.69×10^{-7}	1.74×10^{-5}
3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1×10^3	5.7	7.93×10^{-6}	2.44×10^{-4}
5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	1×10^3	5.7	7.93×10^{-6}	2.44×10^{-4}
7#DSA2 控制室操作位	1×10^3	4.7	3.69×10^{-7}	1.67×10^{-5}
8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处（DSA3 机房）	1×10^3	4.7	7.93×10^{-6}	3.59×10^{-4}
9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1×10^3	5.7	7.93×10^{-6}	2.44×10^{-4}
10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1×10^3	4.7	7.93×10^{-6}	3.59×10^{-4}
11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	1×10^3	5.7	7.93×10^{-6}	2.44×10^{-4}
12#DSA3 控制室操作位	1×10^3	4.6	3.69×10^{-7}	1.74×10^{-5}
13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1×10^3	5.4	7.93×10^{-6}	2.72×10^{-4}
15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处（DSA2 机房）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	1×10^3	5.4	7.93×10^{-6}	2.72×10^{-4}
17#楼上离地 100cm 处	1×10^3	4.8	3.68×10^{-5}	1.60×10^{-3}
18#楼下离地 170cm 处	1×10^3	4.8	3.68×10^{-5}	1.60×10^{-3}

③漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11.5-5 和表 11.5-6 的计算结果，将各个预测点的总辐射剂量率统计于下表 11.5-7。

表11.5-7 各个预测点的总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#DSA1 控制室操作位	6.38×10^{-3}	1.60×10^{-4}	6.54×10^{-3}
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	7.72×10^{-2}	1.96×10^{-3}	7.92×10^{-2}
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	5.03×10^{-2}	1.27×10^{-3}	5.16×10^{-2}

	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	7.72×10^{-2}	1.96×10^{-3}	7.92×10^{-2}
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	5.03×10^{-2}	1.27×10^{-3}	5.16×10^{-2}
	7#DSA2 控制室操作位	6.11×10^{-3}	1.53×10^{-4}	6.26×10^{-3}
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	7.40×10^{-2}	1.87×10^{-3}	7.59×10^{-2}
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	5.03×10^{-2}	1.27×10^{-3}	5.16×10^{-2}
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	7.40×10^{-2}	1.87×10^{-3}	7.59×10^{-2}
	11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	5.03×10^{-2}	1.27×10^{-3}	5.16×10^{-2}
	12#DSA3 控制室操作位	6.38×10^{-3}	1.60×10^{-4}	6.54×10^{-3}
	13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	7.72×10^{-2}	1.96×10^{-3}	7.59×10^{-2}
	14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	5.61×10^{-2}	1.42×10^{-3}	5.16×10^{-2}
	15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	7.72×10^{-2}	1.96×10^{-3}	7.59×10^{-2}
	16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	5.61×10^{-2}	1.42×10^{-3}	5.16×10^{-2}
	17#楼上离地 100cm 处	2.49×10^{-1}	6.31×10^{-3}	2.55×10^{-1}
	18#楼下离地 170cm 处	2.49×10^{-1}	6.31×10^{-3}	2.55×10^{-1}
透视	1#第一术者位 (身体)	19.3	45.3	64.6
	1#第一术者位 (手部)	742.0	1739.4	2481.4
	1#第一术者位 (眼部)	42.9	101	143.9
	1#第二术者位	13.2	31.1	44.3
	2#DSA1 控制室操作位	7.44×10^{-6}	1.74×10^{-5}	2.48×10^{-5}
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1.60×10^{-4}	3.75×10^{-4}	5.35×10^{-4}
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1.04×10^{-4}	2.44×10^{-4}	3.48×10^{-4}
	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1.60×10^{-4}	3.75×10^{-4}	5.35×10^{-4}
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1.04×10^{-4}	2.44×10^{-4}	3.48×10^{-4}
	7#DSA2 控制室操作位	7.13×10^{-6}	1.67×10^{-5}	2.38×10^{-5}
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	1.53×10^{-4}	3.59×10^{-4}	5.12×10^{-4}
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1.04×10^{-4}	2.44×10^{-4}	3.48×10^{-4}
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1.53×10^{-4}	3.59×10^{-4}	5.12×10^{-4}
11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1.04×10^{-4}	2.44×10^{-4}	3.48×10^{-4}	

12#DSA3 控制室操作位	7.44×10^{-6}	1.74×10^{-5}	2.48×10^{-5}
13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1.60×10^{-4}	3.75×10^{-4}	5.35×10^{-4}
14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1.16×10^{-4}	2.72×10^{-4}	3.88×10^{-4}
15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	1.60×10^{-4}	3.75×10^{-4}	5.35×10^{-4}
16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	1.16×10^{-4}	2.72×10^{-4}	3.88×10^{-4}
17#楼上离地 100cm 处	6.82×10^{-4}	1.60×10^{-3}	2.28×10^{-3}
18#楼下离地 170cm 处	6.82×10^{-4}	1.60×10^{-3}	2.28×10^{-3}

由计算结果可知：透视工况时，第一术者位（身体）辐射剂量率均为 $64.6 \mu\text{Gy/h}$ ，第一术者位（手部）辐射剂量率均为 $2481.4 \mu\text{Gy/h}$ ，第二术者位辐射剂量率均为 $44.3 \mu\text{Gy/h}$ 。控制室操作位的辐射剂量率最大为 $2.48 \times 10^{-5} \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $2.28 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ 。减影工况时，控制室操作位的辐射剂量率为 $6.54 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $2.55 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 。

综上，该项目 DSA 在正常运行情况下，机房外控制室、四周防护墙外、楼上、楼下及防护门外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值（剂量换算系数， Sv/Gy ，取 1）。

11.5.2 人员有效剂量估算

(1) 预测参数选取

根据医院预计最大工作量保守假设，每台 DSA 每年的病手术量为 400 台，每台手术减影曝光时间取 1min，透射过程最大曝光时间取 20min，工作人员介入操作过程穿戴好个人防护用品。本项目 DSA 机房拟配备医护工作人员 36 人，其中每间控制室固定配备 2 名技师。每台 DSA 手术配备 2 名医生与 1 名护士，共分为 10 组，每组工作人员每年受到透视照射时间为 40h。

(2) 估算公式

DSA 摄影曝光时，除存在临床不可接受的情况外工作人员均回到控制室进行操作，DSA 透视曝光时，医师在手术间内近台操作，护士和技师通常不在手术间内（或位于移动铅防护屏风后），因此，该项目主要考虑透视模式下近台操作医师的受照剂量（不考虑摄影模式下近台操作医师的受照剂量）。

根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）--2000 年报告附录 A 公式以及居

留因子的选取，对各点位处公众及职业人员的年有效剂量进行计算。

$$H_1 = H_0 \cdot T \cdot t \cdot l \cdot 10^{-3} \quad (\text{式 11.5-4})$$

式中： H_1 —X射线外照射有效剂量当量，mSv；

H_0 —X射线束造成的空气比释动能率， $\mu\text{Gy/h}$ ；

T —居留因子，保守居留因子取1；

t —X射线年照射时间，h/a；

l —剂量换算系数，对于光子， $\text{Sv/Gy}=1$ 。

表11.5-8 职业人员及公众年有效剂量估算结果

工作模式	关注点位置描述	总辐射剂量率 H_0	年工作时间 t	居留因子 T	年有效剂量 H_1	涉及人员类型
		$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv	
减影	2#DSA1 控制室操作位	6.54×10^{-3}	6.7	1	4.38×10^{-5}	职业人员
	3#DSA1 东侧防护墙外30cm处（控制室）	7.92×10^{-2}	6.7	1	5.31×10^{-4}	职业人员
	4#DSA1 南侧防护墙外30cm处（污物走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	5#DSA1 西侧防护墙外30cm处（污物走廊）	7.92×10^{-2}	6.7	1	5.31×10^{-4}	公众人员
	6#DSA1 北侧防护墙外30cm处（洁净走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	7#DSA2 控制室操作位	6.26×10^{-3}	6.7	1	4.19×10^{-5}	职业人员
	8#DSA2 东侧防护墙外30cm处（DSA3 机房）	7.59×10^{-2}	6.7	1	5.09×10^{-4}	职业人员
	9#DSA2 南侧防护墙外30cm处（污物走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	10#DSA2 西侧防护墙外30cm处（控制室）	7.59×10^{-2}	6.7	1	5.09×10^{-4}	职业人员
	11#DSA2 北侧防护墙外30cm处（洁净走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	12#DSA3 控制室操作位	6.54×10^{-3}	6.7	1	4.38×10^{-5}	职业人员
	13#DSA3 东侧防护墙外30cm处（控制室）	7.59×10^{-2}	6.7	1	5.09×10^{-4}	职业人员
	14#DSA3 南侧防护墙外30cm处（污物走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	15#DSA3 西侧防护墙外30cm处（DSA2 机房）	7.59×10^{-2}	6.7	1	5.09×10^{-4}	职业人员
	16#DSA3 北侧防护墙外30cm处（洁净走廊）	5.16×10^{-2}	6.7	1	3.46×10^{-4}	公众人员
	17#楼上离地 100cm 处	2.55×10^{-1}	6.7	1	1.71×10^{-3}	公众人员
	18#楼下离地 170cm 处	2.55×10^{-1}	6.7	1	1.71×10^{-3}	公众人员

透视	1#第一术者位（身体）	64.6	40	1	2.584	职业人员
	1#第二术者位	44.3	40	1	1.772	职业人员
	2#DSA1 控制室操作位	2.48×10^{-5}	133.3	1	3.31×10^{-6}	职业人员
	3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	5.35×10^{-4}	133.3	1	7.13×10^{-5}	职业人员
	4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	3.48×10^{-4}	133.3	1	4.64×10^{-5}	公众人员
	5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	5.35×10^{-4}	133.3	1	7.13×10^{-5}	公众人员
	6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	3.48×10^{-4}	133.3	1	4.64×10^{-5}	公众人员
	7#DSA2 控制室操作位	2.38×10^{-5}	133.3	1	3.17×10^{-6}	职业人员
	8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处（DSA3 机房）	5.12×10^{-4}	133.3	1	6.82×10^{-5}	公众人员
	9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	3.48×10^{-4}	133.3	1	4.64×10^{-5}	公众人员
	10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	5.12×10^{-4}	133.3	1	6.82×10^{-5}	职业人员
	11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	3.48×10^{-4}	133.3	1	4.64×10^{-5}	公众人员
	12#DSA3 控制室操作位	2.48×10^{-5}	133.3	1	3.31×10^{-6}	职业人员
	13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	5.35×10^{-4}	133.3	1	7.13×10^{-5}	职业人员
	14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	3.88×10^{-4}	133.3	1	5.17×10^{-5}	公众人员
	15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处（DSA2 机房）	5.35×10^{-4}	133.3	1	7.13×10^{-5}	公众人员
	16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处（洁净走廊）	3.88×10^{-4}	133.3	1	5.17×10^{-5}	公众人员
	17#楼上离地 100cm 处	2.28×10^{-3}	133.3	1	3.04×10^{-4}	公众人员
18#楼下离地 170cm 处	2.28×10^{-3}	133.3	1	3.04×10^{-4}	公众人员	

各预测点位年有效剂量估算结果汇总于表11.5-9。

表11.5-9 职业人员及公众年有效剂量估算结果

关注点位置描述	减影	透视	年有效剂量	人员类型
	mSv	mSv	mSv	
1#第一术者位	/	2.584	2.584	职业人员
1#第二术者位	/	1.772	1.772	职业人员
2#DSA1 控制室操作位	4.38×10^{-5}	3.31×10^{-6}	4.71×10^{-5}	职业人员
3#DSA1 东侧防护墙外 30cm 处（控制室）	5.31×10^{-4}	7.13×10^{-5}	6.02×10^{-4}	职业人员
4#DSA1 南侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	3.46×10^{-4}	4.64×10^{-5}	3.92×10^{-4}	公众人员

5#DSA1 西侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	5.31×10^{-4}	7.13×10^{-5}	6.02×10^{-4}	公众人员
6#DSA1 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	3.46×10^{-4}	4.64×10^{-5}	3.92×10^{-4}	公众人员
7#DSA2 控制室操作位	4.19×10^{-5}	3.17×10^{-6}	4.51×10^{-5}	职业人员
8#DSA2 东侧防护墙外 30cm 处 (DSA3 机房)	5.09×10^{-4}	6.82×10^{-5}	5.77×10^{-4}	公众人员
9#DSA2 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	3.46×10^{-4}	4.64×10^{-5}	3.92×10^{-4}	公众人员
10#DSA2 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	5.09×10^{-4}	6.82×10^{-5}	5.77×10^{-4}	职业人员
11#DSA2 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	3.46×10^{-4}	4.64×10^{-5}	3.92×10^{-4}	公众人员
12#DSA3 控制室操作位	4.38×10^{-5}	3.31×10^{-6}	4.71×10^{-5}	职业人员
13#DSA3 东侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	5.09×10^{-4}	7.13×10^{-5}	5.77×10^{-4}	职业人员
14#DSA3 南侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	3.46×10^{-4}	5.17×10^{-5}	3.98×10^{-4}	公众人员
15#DSA3 西侧防护墙外 30cm 处 (DSA2 机房)	5.09×10^{-4}	7.13×10^{-5}	5.77×10^{-4}	公众人员
16#DSA3 北侧防护墙外 30cm 处 (洁净走廊)	3.46×10^{-4}	5.17×10^{-5}	3.98×10^{-4}	公众人员
17#楼上离地 100cm 处	1.71×10^{-3}	3.04×10^{-4}	2.01×10^{-3}	公众人员
18#楼下离地 170cm 处	1.71×10^{-3}	3.04×10^{-4}	2.01×10^{-3}	公众人员

(3) 介入手部剂量估算

根据《电离辐射所致皮肤剂量估算方法》(GBZ/T244-2017)中的公式估算 DSA 机房手术医生年皮肤当量剂量:

$$D_s = C_{ks} \times \dot{k} \times t \times 10^{-3} \quad (\text{式 11.5-5})$$

$$H = D_s \cdot W_R \quad (\text{式 11.5-6})$$

式中:

D_s —皮肤吸收剂量, mGy;

\dot{k} —空气比释动能率, $\mu\text{Gy/h}$;

C_{ks} —空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数 (Gy/ Gy) ;

t —人员累积年受照时间, h;

H : 关注点的当量剂量, mSv;

W_R : 辐射权重因数, X 射线取 1。

由表 11.5-8 可知, DSA 机房内手术医生在透视工况下手部所受的最大空气比释动能率为 $2481.4\mu\text{Gy/h}$, 本项目 DSA 可近似视为垂直入射, 而且是 PA 入射方式, 从《电

离辐射所致皮肤剂量估算方法》（GBZ/T244-2017）表 A.5 可得空气比释动能到皮肤吸收剂量的转化系数 $C_{ks}=1.162\text{mGy/mGy}$ ，人员累积年受照时间为 40h，根据式 11.5-5 和 11.5-6 可以求得手术医生手部皮肤受到的年当量剂量最大为 115.3mSv，低于本环评要求的 125mSv 年当量剂量管理约束值。

（4）介入医生眼睛体受照剂量当量

本次评价对 DSA 手术医生眼晶体年当量剂量进行理论计算。参考介入医生手部所受的最大空气比释动能率为 143.9 $\mu\text{Gy/h}$ 。

根据《电离辐射所致眼晶状体剂量估算方法》（GBZ/T301-2017）和《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），有辐射场空气比释动能率信息时，眼晶状体吸收剂量用下式进行估算：

$$D_L = C_{KL} \times \dot{k} \times 10^{-3} \times t \quad (\text{式 11-7})$$

$$H = D_L \cdot W_R \quad (\text{式 11-8})$$

式中：

D_L ：眼晶状体吸收剂量（mGy）；

C_{KL} ：空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数（mGy/mGy），从表 A.4 查空气比释动能到眼晶状体吸收剂量的转换系数 $C_{KL}=1.55\text{mGy/mGy}$ ；

\dot{k} ：X、 γ 辐射场的空气比释动能率（ $\mu\text{Gy/h}$ ），为 143.9 $\mu\text{Gy/h}$ ；

t ：人员累积受照时间，h，医生年受照时间为 40h；

H ：关注点的当量剂量，mSv；

W_R ：辐射权重因数，X 射线取 1。

根据式 11-7 计算得 $D_L=5.76\text{mGy}$ ，根据 11-8 计算得医生眼晶状体年当量剂量为 8.93mSv，满足本项目辐射工作人员眼晶状体当量剂量不高于 20mSv/a 的剂量约束值要求。

由上述计算结果可知：本项目 DSA 射线装置在正常运行时，所致机房内职业人员年受照最大有效剂量为 2.584mSv，控制室内职业人员年受照的最大有效剂量为 $6.02 \times 10^{-4}\text{mSv}$ ，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员要求的剂量限值 20mSv/a 和目标管理约束值 5mSv/a 的要求；医生手部受照的年有效剂量当量为 115.3mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员四肢要求的剂量限值 500mSv/a 和目标管理约束值 125mSv/a 的要求，眼晶体

受照的年有效剂量当量为 8.93mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员眼晶体要求的剂量限值 150mSv/a 和目标管理约束值 20mSv/a 的要求。公众人员受照的有效剂量最大为 2.01×10^{-3} mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值 1mSv/a 和目标管理约束值 0.1mSv/a 的要求。由此说明，本项目 DSA 装置机房的防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家允许的范围以内。由于剂量率与距离的平方成反比，DSA 机房外 30cm 处的剂量率较小，因此机房边界外 50m 范围内的其他公众人员年有效剂量仍满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值 1mSv/a 和目标管理值 0.1mSv/a 的要求。

上述估算仅是理论推算，实际应用时，工作人员的受照剂量应以佩戴的个人剂量剂检测结果为准。

（4）辐射剂量叠加影响分析

考虑本项目 3 台 DSA 并排，其中 DSA1 和 DSA2 机房共用一个控制室，同时机房内介入医生同时可能会受到隔壁 DSA 机房的照射。根据计算结果，由于机房外人员受照剂量较低，叠加后仍可以满足本项目目标管理值 5mSv/a 的要求。

（5）臭氧影响分析

本项目 DSA 射线能量低，电离产生的臭氧和氮氧化物额度非常低，且臭氧可自然分解为氧气，DSA 机房设置有机机械通排风系统，通排风次数不应低于 4 次/h，废气经通排风系统排出机房外，臭氧 50 分钟后可自然分解，对周围大气环境影响很小。

11.6 内镜中心 ERCP 运行时影响分析

11.6.1 ERCP 机房外剂量率估算

本项目 ERCP 射线装置额定参数均为管电压 125kV，管电流 900mA。为了分析 ERCP 装置建成投入运行后对周围工作人员所造成的影响，本次环评采用理论计算方法。理论计算方法与 DSA 相同。

根据医院提供资料，ERCP 设备参数与工况、机房防护情况如表 11.6-1。

表 11.6-1 本项目 ERCP 设备参数与工况及防护情况

设备		ERCP
技术参数		管电压 125kV/管电流 900mA
工况模式	摄影	电压 100kV/电流 400mA
	透视	电压 80kV/电流 10mA

防护设施	四周墙体	240mm 实心砖墙+20mm 硫酸钡防护 涂料 (3.0)
	防护门	内衬 3.0mm 铅板(3mmPb)
	观察窗	3mmPb铅玻璃(3mmPb)
	顶棚	120mm现浇混凝土+40mm硫酸钡防护涂料 (3.4)
	地坪	120mm混凝土+40mm硫酸钡水泥防护涂料 (3.4mmPb)
	设备辅助防护用品	0.5mmPb
	医生	铅衣、铅围脖、铅眼镜等防护用品 (0.5mmPb)、介入防护手套 (0.025mmPb)

取医生手术位、控制室操作位、各防护墙外 30cm 处、铅防护门外 30cm 处、楼上离地 100cm 处、楼下离地 170cm 处为预测点位。

本项目 ERCP 设备主射方向向上，介入手术过程中， ERCP 图像增强器对 X 射线主束有屏蔽作用，NCRP147 号报告“Structural Shielding Design For Medical X-Ray Imaging Facilities”4.1.6 节 (Primary Barriers, P41-45) 及 5.1 节 (Cardiac Angiography, P72) 指出，屏蔽估算时不需要考虑主束照射。因此设备运行时，医生操作位、机房的墙壁、地坪、防护门及铅玻璃窗，仅受到病人体表散射辐射和泄漏辐射影响。

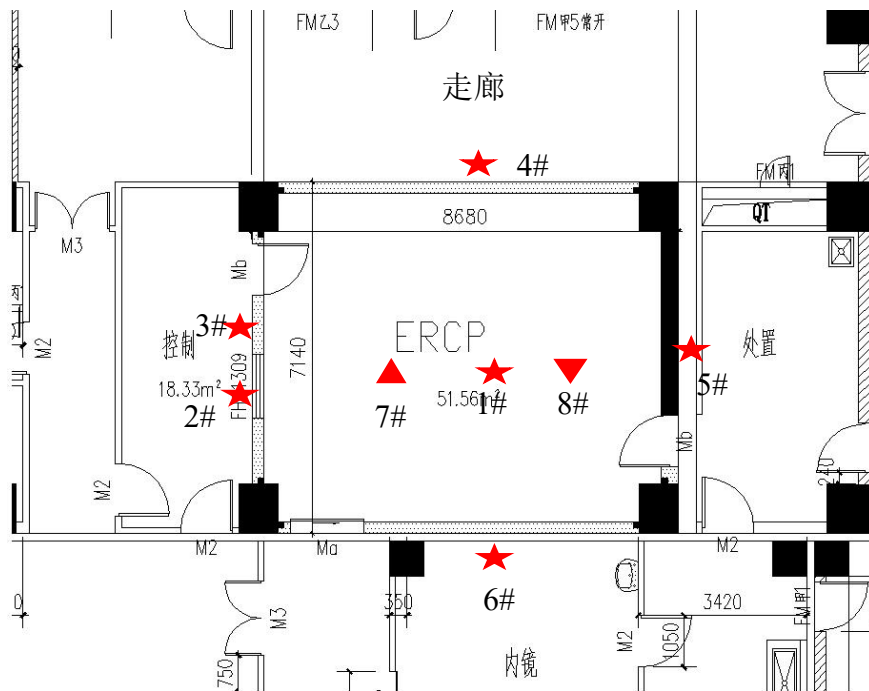


图 11.6-1 ERCP 机房关注点位图

表 11.6-2 100kV 减影工况时 ERCP 机房散射辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	H_0	屏蔽厚度	α	β	γ	B
控制室操作位	3.0mmPb 铅玻璃	4.08×10^7	3.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 3mm 铅板		3.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}

机房四侧墙体	240mm 实心砖墙 +20mm 硫酸钡防 护 涂料 (3.0)		3.0mmPb	2.507	15.33	0.9124	6.31×10^{-5}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝土 (2.5)		2.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.22×10^{-4}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝土 (2.5)		2.5mmPb	2.507	15.33	0.9124	2.22×10^{-4}

表 11.6-3 100kV 减影工况下 ERCP 机房泄漏辐射各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	H_0	屏蔽厚度	α	β	γ	B
控制室操作位	3.0mmPb 铅玻璃	1m Gy/h	3.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 3mm 铅板		3.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
四侧墙体外 30cm 处	240mm 实心砖 墙+20mm 硫酸 钡防护 涂料 (3.0)		3.0mmPb	2.5	15.28	0.7557	4.14×10^{-5}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝土 (2.5)		2.5mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.45×10^{-4}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝土 (2.5)		2.5mmPb	2.5	15.28	0.7557	1.45×10^{-4}

表 11.6-4 80kV 透射工况下 ERCP 机房各预测点屏蔽透射因子计算结果

预测点位	防护情况	H_0	屏蔽厚度	α	β	γ	B
第一术者位 (身 体)	0.5mmPb 铅 衣+0.5mm 铅 屏风	$4.2 \times$ $10^5 \mu\text{G}$ y/h	1.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	4.08×10^{-3}
第一术者位 (手 部)	0.025mmPb 铅手套		0.025mm Pb	3.067	18.83	0.7726	0.63
第一术者位 (眼 部)	0.5mmPb 铅 眼镜		0.5mm Pb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
第二术者位 (身 体)	0.5mmPb 铅 衣		0.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	2.52×10^{-2}
控制室操作位	3.0mmPb 铅 玻璃		3.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
防护门外 30cm 处 (控制室)	内衬 3mm 铅 板		3.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
四侧墙体外 30cm 处	240mm 实心 砖墙+20mm 硫酸钡防护 涂料 (3.0)		3.0mmPb	3.067	18.83	0.7726	7.93×10^{-6}
楼上离地 100cm 处	200mm 混凝 土 (2.5)		2.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.68×10^{-5}
楼下离地 170cm 处	200mm 混凝 土 (2.5)		2.5mmPb	3.067	18.83	0.7726	3.68×10^{-5}

注：根据GBZ130，无80kV管电压下拟合参数，保守按90kV计算。

① 散射辐射各预测点辐射剂量率计算

表 11.6-5 ERCP 机房各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	α	s	d_0	d_s	B	H_s
		$\mu\text{Gy/h}$	/	cm^2	m	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#ERCP 控制室操作位	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	6.18×10^{-2}
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	6.18×10^{-2}
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	3.9	6.31×10^{-5}	8.60×10^{-2}
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	4.6	6.31×10^{-5}	6.18×10^{-2}
	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处 (内镜)	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	3.9	6.31×10^{-5}	8.60×10^{-2}
	7#楼上离地 100cm 处	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	4.8	2.22×10^{-4}	1.99×10^{-1}
	8#楼下离地 170cm 处	4.08×10^7	0.0013	100	0.8	4.8	2.22×10^{-4}	1.99×10^{-1}
	透视	1#第一术者位 (身体)	4.2×10^5	0.0013	100	0.8	0.3	4.08×10^{-3}
1#第一术者位 (手部)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	0.6	0.63	371.0
1#第一术者位 (眼部)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	0.5	2.52×10^{-2}	21.5
1#第二术者位		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	0.9	2.52×10^{-2}	6.6
2#ERCP 控制室操作位		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	8.0×10^{-5}
3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	8.0×10^{-5}
4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处 (走廊)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	3.9	7.93×10^{-6}	1.11×10^{-4}
5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	4.6	7.93×10^{-6}	8.0×10^{-5}
6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处 (内镜)		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	3.9	7.93×10^{-6}	1.11×10^{-4}
7#楼上离地 100cm 处		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	4.8	3.68×10^{-5}	3.41×10^{-4}
8#楼下离地 170cm 处		4.2×10^5	0.0013	100	0.8	4.8	3.68×10^{-5}	3.41×10^{-4}

②漏射辐射剂量率估算

表 11.6-6 泄漏辐射各预测点散射辐射剂量率计算参数及结果

工作模式	关注点位置描述	H_0	d	B	H_L
		$\mu\text{Gy/h}$	m	/	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#ERCP 控制室操作位	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处 (控制室)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	1×10^3	3.9	4.14×10^{-5}	2.72×10^{-3}
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	1×10^3	4.6	4.14×10^{-5}	1.96×10^{-3}
	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处 (内镜)	1×10^3	3.9	4.14×10^{-5}	2.72×10^{-3}

透视	7#楼上离地 100cm 处	1×10^3	4.8	1.45×10^{-4}	6.31×10^{-3}
	8#楼下离地 170cm 处	1×10^3	4.8	1.45×10^{-4}	6.31×10^{-3}
	1#第一术者位（身体）	1×10^3	0.3	4.08×10^{-3}	45.3
	1#第一术者位（手部）	1×10^3	0.6	0.63	1739.4
	1#第一术者位（眼部）	1×10^3	0.5	2.52×10^{-2}	101
	1#第二术者位	1×10^3	0.9	2.52×10^{-2}	31.1
	2#ERCP 控制室操作位	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	1×10^3	3.9	7.93×10^{-6}	5.22×10^{-4}
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	1×10^3	4.6	7.93×10^{-6}	3.75×10^{-4}
	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处（内镜）	1×10^3	3.9	7.93×10^{-6}	5.22×10^{-4}
	7#楼上离地 100cm 处	1×10^3	4.8	3.68×10^{-5}	1.60×10^{-3}
	8#楼下离地 170cm 处	1×10^3	4.8	3.68×10^{-5}	1.60×10^{-3}

③漏射和散射总辐射剂量率估算

根据表 11.6-5 和表 11.6-6 的计算结果，将各个预测点的总辐射剂量率统计于下表 11.6-7。

表11.6-7 ERCP机房各个预测点的总辐射剂量率

工作模式	关注点位置描述	散射辐射剂量率	泄漏辐射剂量率	总辐射剂量率
		$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$	$\mu\text{Gy/h}$
减影	2#ERCP 控制室操作位	6.18×10^{-2}	1.96×10^{-3}	6.38×10^{-2}
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	6.18×10^{-2}	1.96×10^{-3}	6.38×10^{-2}
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	8.60×10^{-2}	2.72×10^{-3}	8.87×10^{-2}
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	6.18×10^{-2}	1.96×10^{-3}	6.38×10^{-2}
	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处（内镜）	8.60×10^{-2}	2.72×10^{-3}	8.87×10^{-2}
	7#楼上离地 100cm 处	1.99×10^{-1}	6.31×10^{-3}	2.05×10^{-1}
	8#楼下离地 170cm 处	1.99×10^{-1}	6.31×10^{-3}	2.05×10^{-1}
透视	1#第一术者位（身体）	9.7	45.3	55.0
	1#第一术者位（手部）	371.0	1739.4	2110.4
	1#第一术者位（眼部）	21.5	101	122.5
	1#第二术者位	6.6	31.1	37.7
	2#ERCP 控制室操作位	8.0×10^{-5}	3.75×10^{-4}	4.55×10^{-4}
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	8.0×10^{-5}	3.75×10^{-4}	4.55×10^{-4}

4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处 (走廊)	1.11×10^{-4}	5.22×10^{-4}	6.33×10^{-4}
5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处 (污物走廊)	8.0×10^{-5}	3.75×10^{-4}	4.55×10^{-4}
6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处 (内镜)	1.11×10^{-4}	5.22×10^{-4}	6.33×10^{-4}
7#楼上离地 100cm 处	3.41×10^{-4}	1.60×10^{-3}	1.94×10^{-3}
8#楼下离地 170cm 处	3.41×10^{-4}	1.60×10^{-3}	1.94×10^{-3}

由计算结果可知：透视工况时，第一术者位（身体）辐射剂量率均为 $55.0 \mu\text{Gy/h}$ ，第一术者位（手部）辐射剂量率均为 $2110.4 \mu\text{Gy/h}$ ，第二术者位辐射剂量率均为 $37.7 \mu\text{Gy/h}$ 。控制室操作位的辐射剂量率最大为 $4.55 \times 10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $1.94 \times 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$ 。减影工况时，控制室操作位的辐射剂量率为 $6.38 \times 10^{-2} \mu\text{Gy/h}$ ，机房周边辐射剂量率最大为 $2.05 \times 10^{-1} \mu\text{Gy/h}$ 。

综上，该项目 ERCP 在正常运行情况下，机房外控制室、四周防护墙外、楼上、楼下及防护门外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的标准限值（剂量换算系数， Sv/Gy ，取 1）。

11.6.2 人员有效剂量估算

(1) 预测参数选取

根据医院预计最大工作量保守假设，ERCP 每年的手术量为 300 台，每台手术减影曝光时间取 1min，透射过程最大曝光时间取 20min，工作人员介入操作过程穿戴好个人防护用品。本项目 ERCP 机房拟配备医护工作人员 5 人，其中每间控制室固定配备 1 名技师。手术配备 1 名医生与 1 名护士，共分为 2 组，每组工作人员每年受到透视照射时间为 50h。个人剂量有效估算方法同 DSA 计算。

表11.6-8 职业人员及公众年有效剂量估算结果

工作模式	关注点位置描述	总辐射剂量率 H_0	年工作时间 t	居留因子 T	年有效剂量 H_1	涉及人员类型
		$\mu\text{Gy/h}$	h	/	mSv	
摄影	2#ERCP 控制室操作位	6.38×10^{-2}	5	1	3.19×10^{-4}	职业人员
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	6.38×10^{-2}	5	1	3.19×10^{-4}	职业人员
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	8.87×10^{-2}	5	1	4.44×10^{-4}	公众人员
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	6.38×10^{-2}	5	1	3.19×10^{-4}	公众人员

	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处（内镜）	8.87×10^{-2}	5	1	4.44×10^{-4}	公众人员
	7#楼上离地 100cm 处	2.05×10^{-1}	5	1	1.03×10^{-3}	公众人员
	8#楼下离地 170cm 处	2.05×10^{-1}	5	1	1.03×10^{-3}	公众人员
透视	1#第一术者位（身体）	55.0	50	1	2.75	职业人员
	1#第二术者位	37.7	50	1	1.89	职业人员
	手部有效剂量	2110.4	50	1	122.6	职业人员
	2#ERCP 控制室操作位	4.55×10^{-4}	100	1	4.55×10^{-5}	职业人员
	3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	4.55×10^{-4}	100	1	4.55×10^{-5}	职业人员
	4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	6.33×10^{-4}	100	1	6.33×10^{-5}	公众人员
	5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	4.55×10^{-4}	100	1	4.55×10^{-5}	公众人员
	6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处（内镜）	6.33×10^{-4}	100	1	6.33×10^{-5}	公众人员
	7#楼上离地 100cm 处	1.94×10^{-3}	100	1	1.94×10^{-4}	公众人员
	8#楼下离地 170cm 处	1.94×10^{-3}	100	1	1.94×10^{-4}	公众人员

各预测点位年有效剂量估算结果汇总于表11.6-9。

表11.6-9 职业人员及公众年有效剂量估算结果

关注点位置描述	减影	透视	年有效剂量	人员类型
	mSv	mSv	mSv	
1#第一术者位	/	2.75	2.75	职业人员
1#第二术者位	/	1.89	1.89	职业人员
1#第一术者位手部	/	122.6	122.6	职业人员
1#第一术者位眼部	/	6.53	6.53	职业人员
2#ERCP 控制室操作位	3.19×10^{-4}	4.55×10^{-5}	3.65×10^{-4}	职业人员
3#ERCP 西侧防护墙外 30cm 处（控制室）	3.19×10^{-4}	4.55×10^{-5}	3.65×10^{-4}	职业人员
4#ERCP 北侧防护墙外 30cm 处（走廊）	4.44×10^{-4}	6.33×10^{-5}	5.07×10^{-4}	公众人员
5#ERCP 东侧防护墙外 30cm 处（污物走廊）	3.19×10^{-4}	4.55×10^{-5}	3.65×10^{-4}	公众人员
6#ERCP 南侧防护墙外 30cm 处（内镜）	4.44×10^{-4}	6.33×10^{-5}	5.07×10^{-4}	公众人员
7#楼上离地 100cm 处	1.03×10^{-3}	1.94×10^{-4}	1.22×10^{-3}	公众人员
8#楼下离地 170cm 处	1.03×10^{-3}	1.94×10^{-4}	1.22×10^{-3}	公众人员

综上，本项目 ERCP 射线装置在正常运行时，所致机房内职业人员年受照最大有效剂量为 2.75mSv，控制室内职业人员年受照的最大有效剂量为 3.65×10^{-4} mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员要求的剂量限值

20mSv/a 和目标管理约束值 5mSv/a 的要求；医生手部受照的年有效剂量当量为 122.6mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员四肢要求的剂量限值 500mSv/a 和目标管理约束值 125mSv/a 的要求，医生眼部受照的年有效剂量当量为 9.49mSv，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对职业人员眼晶体要求的剂量限值 150mSv/a 和目标管理约束值 20mSv/a 的要求。公众人员受照的有效剂量最大为 1.22×10^{-3} mSv/a，满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值 1mSv/a 和目标管理约束值 0.1mSv/a 的要求。由此说明，本项目 ERCP 装置机房的防护设计满足要求，其正常运行后产生的辐射影响在国家允许的范围以内。由于剂量率与距离的平方成反比，ERCP 机房外 30cm 处的剂量率较小，因此机房边界外 50m 范围内的其他公众人员年有效剂量仍满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）对公众要求的剂量限值 1mSv/a 和目标管理值 0.1mSv/a 的要求。

11.6.3 臭氧影响分析

本项目 ERCP 射线能量低，电离产生的臭氧和氮氧化物额度非常低，且臭氧可自然分解为氧气，ERCP 机房设置有机机械通排风系统，通排风次数不应低于 4 次/h，废气经通排风系统排出机房外，臭氧经 50min 可自然分解，对周围大气环境影响很小。

11.7 搬迁III类射线装置影响分析

11.7.1 III类射线装置运行期环境影响分析

通过表 10.4-2 和表 10.4-3 可知，搬迁III类射线装置搬迁后所在机房面积、最小单边长度均大于标准要求，其四面墙体、顶棚、防护门以及观察窗均采取了辐射屏蔽措施，充分考虑了邻室（含楼上下）及周围场所的人员防护与安全，且屏蔽厚度均高于有用线束和非有用线束铅当量防护厚度标准规定值。从 X 射线放射诊断场所的屏蔽方面考虑，射线装置搬迁后所在机房的防护设施的技术要求满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中的相关防护设施的技术要求。

因此可推断各射线装置机房外的周围环境辐射水平能够满足不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的要求。因此该射线装置投入运行后，对评价范围内环境保护目标（周围工作人员、公众）环境影响较小，对周围辐射环境影响较小。

11.7.2 人员受照剂量分析

各搬迁III类射线装置机房四面墙体、顶棚、地板、观察窗、防护门等防护参数均满

足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对机房的防护设施技术要求。

根据医院提供资料，新院区III类射线机房屏蔽厚度及机房有效使用面积均不低于搬迁前机房的屏蔽厚度及有效使用面积，参考搬迁前III类射线装置 2021 年度工作场所年度监测报告（报告编号：GABG-XF/CF21235113），根据监测报告，搬迁前III类射线装置机房各侧屏蔽体外 30cm 处辐射剂量率均小于 2.5 μ Sv/h，满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）相关要求。

根据医院提供III类射线装置工作量及监测报告中监测数据，工作人员及公众年有效剂量预测见表 12.5-1 和表 12.5-2。

表 12.5-1 III类射线装置所致工作人员年有效剂量预测表

序号	设备名称	曝光时间 (s)	单台设备的日最大接诊数 (人)	工作人员操作位辐射剂量率 (μ Sv/h)	年工作天数 (d)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
1	DR	≤ 0.2	100	0.2	250	1	2.78×10^{-4}
2	CT	≤ 20	60	0.23	250	1	0.019
3	乳腺机	≤ 0.5	20	0.2	250	1	1.38×10^{-4}
4	胃肠机	≤ 20	40	0.2	250	1	0.14
5	牙片机	≤ 0.5	50	0.2	250	1	3.47×10^{-4}
6	牙科全景机	≤ 30	25	0.21	250	1	0.011
7	C 臂机	≤ 600	4	0.20	250	1	0.033
8	车载 DR	≤ 0.2	20	2.5	250	1	0.001

注：车载 DR 没有检测数据，因此保守取 2.5 μ Sv/h 进行计算。

根据类比，本次项目运行后，III类射线装置诊疗项目的辐射工作人员能满足“职业人员年有效剂量不超过 5mSv”的要求。另外根据医院辐射工作人员年度个人剂量监测报告，放射诊断工作人员年有效剂量最大为 0.49mSv，满足职业人员年有效剂量不超过 5mSv”的要求。

表 12.5-2 III类射线装置所致公众年有效剂量预测表

序号	设备名称	曝光时间 (s)	单台设备的日最大接诊数 (人)	公众可到达点位辐射剂量率 (μ Sv/h)	年工作天数 (d)	居留因子	年有效剂量 (mSv)
1	DR	≤ 0.2	100	0.49	250	1/4	1.70×10^{-4}
2	CT	≤ 20	60	0.82	250	1/4	0.017
3	乳腺机	≤ 0.5	20	0.2	250	1/4	3.47×10^{-5}
4	胃肠机	≤ 20	40	0.49	250	1/4	0.006
5	牙片机	≤ 0.5	50	0.2	250	1/4	8.68×10^{-5}
6	牙科全景机	≤ 30	25	0.59	250	1/4	0.008

7	C 臂机	≤600	4	0.24	250	1/4	0.010
8	车载 DR	≤0.2	20	2.5	250	1/4	1.70×10 ⁻⁴

注：车载 DR 没有检测数据，因此保守取 2.5μSv/h 进行计算。

偏保守预测本次评价的Ⅲ类射线装置机房建成后，设备的正常运行对机房外相邻环境（包括机房四面墙体外，楼上和楼下场所）的影响，均能满足本报告提出的剂量约束值的要求，即公众有效剂量控制值不超过 0.1mSv/a，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

由于辐射剂量率与距离的平方成反比，因此 50m 范围的公众受到的年有效剂量会更低，搬迁Ⅲ类射线装置对周围公众的辐射影响均能满足本报告提出的剂量约束值要求，同时满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的要求。

11.7.3 Ⅲ类射线装置运营期臭氧和氮氧化物影响分析

各射线装置在曝光过程中，会产生少量臭氧和氮氧化物，各射线装置机房均设置有通风设施，产生的臭氧和氮氧化物经通风系统排出机房。臭氧和氮氧化物排入大气环境后对周围环境影响较小。

11.8 非放射性“三废”影响分析

本项目非放射性“三废”主要为辐射工作人员和患者产生的生活污水、生活垃圾；诊疗过程产生医疗固废、风机等设备噪声。《新昌县人民医院迁建工程项目环境影响报告书》已于 2020 年 12 月 31 日取得绍兴市生态环境局批复，批复文号：新环建字[2020]99 号。本项目为新昌县人民医院迁建工程中核技术利用项目，为其批复内容，故非放射性“三废”影响分析已在新昌县人民医院迁建工程项目环境影响报告书进行了详细分析，本次环评不再另行进行分析。

11.9 辐射事故分析和防范措施

11.9.1 环境风险评价的目的

环境风险评价的目的是分析和预测建设项目存在的潜在危害和有害因素，以及项目在运营期间可能发生的事故（一般不包括自然灾害与人为破坏），引起有毒、有害（本项目为电离辐射）物质泄漏，所造成的环境影响程度和人身安全损害程度，并提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使项目事故发生率、损失和环境影响达到可以接受的水平。

11.9.2 核医学科辐射事故影响分析

11.9.2.1 可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

①PET/CT 或 SPECT/CT 机房门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未锁好核医学科进出口的大门或取用药物后未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

11.9.2.3 核医学科工作场所防范措施

(1) 制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

(2) 制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。专用源库设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫生主管部门报告，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫生主管部门对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

(3) 加强对有药患者的管理，在不影响诊断和治疗的情况下，限制其服药量，限制患者出院时的放射性药物携带量，并对出院的有药患者提供与他人接触时的辐射防护措施的书面指导，使患者明白并自觉做到短期内不到公众场所活动，并避免与家人近距离密切接触。

(4) 加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。放射性废水和固体废物经足够长

的时间衰变后，方可排放或按照普通医疗垃圾处理，并做好监测记录。

(5) 核医学科个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

(6) 严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

11.9.3.4 应急处置措施

发生事故时，采取的应急处理措施如下：

①由于操作不慎，有少量的液态药物溅洒。发生这种事故应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。然后用备用的塑料袋装清洗过程中产生的污染物品和湿的药棉、纸巾，从溅洒处移去垫子，用药棉或纸巾擦抹，应注意从污染区的边沿向中心擦抹，直到擦干污染区。最后用表面沾污仪测量污染区，如果 β 表面污染大于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ ，表明该污染区未达到解控标准，这时应用酒精浸湿药棉或纸巾擦拭，直到该污染区表面污染小于 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 为止。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪器对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。处理药物撒漏的擦拭物收集放到放射性固体废弃物衰变箱中，作为放射性固体废物进行管理。

②因不慎造成放射性核素污染了地面或台面时，应先用吸收滤纸将其吸干，以防扩散，并立即标记污染范围，注明放射性核素名称、日期。根据污染程度及时报告上级领导和有关部门。人体溅污放射性核素时，应先用吸水纸吸干体表，避免污染面积扩大。之后根据不同核素分别去污。

③若发生放射性药物丢失、被盗，应第一时间将事故情况通报有关（生态环境、公安、卫生等）主管部门；分析确定丢失、被盗事故的具体时间及原因，向相关部门提供信息，根据有关线索，组织人员协同相关部门查找丢失、被盗放射性同位素，在查找过

程中携带辐射监测仪器，防止事故处理人员受到照射；对放射性同位素丢失前存放场所进行监测，根据现场辐射剂量率的大小确定是否受污染。如现场受到污染出现辐射剂量率异常情况，根据辐射剂量率大小划定警戒线，撤离警戒区域内的所有人员，事故处理人员应穿戴防护用品，佩戴个人剂量计进入事故现场。

④放射性废物处置或管理不当造成污染时，立即划定警戒区，并设置放射性污染标识，限制无关人员靠近，由专业人员处理，经监测满足解控要求后再解除警戒。

11.9.4 直线加速器辐射事故影响分析

11.9.4.1 可能发生的辐射事故

因医用直线加速器本身自带屏蔽措施及设备固有的安全联锁装置，故设备在正常使用的情况下发生事故的极小，可能发生的辐射事故主要包括：

①安全联锁失效，人员可能在防护门未关闭时误入机房，如果这时运行加速器，则可能造成误照射事故。

②除受治疗患者以外，机房中仍有其他人员未撤离时，操作人员未严格按照操作规程确认机房中环境便运行加速器，则会造成机房中人员误照射。

11.9.4.2 预防措施

一旦发现有人误入直线加速器机房，工作人员应立即利用最近的急停开关切断设备电源，启动医院辐射事故应急预案。为防止直线加速器辐射事故发生，应采取多种防范措施：

(1) 控制台上应有辐射类型、标称能量、照射时间、吸收剂量、治疗方式等参数的显示装置，操作人员可随时了解设备运行情况。

(2) 条件显示联锁：加速器具有联锁装置，只有当射线能量、吸收剂量选值、照射方式和过滤器的规格等参数选定，并当治疗室与控制台等均满足预选条件后，照射才能进行。

(3) 剂量控制联锁：安装有剂量监测系统，当吸收剂量未达到预选值时，照射终止。

(4) 控制台上配置有独立于其他任何控制辐照终止系统的辐照控制计时器，当辐照终止后能保留计时器读数，计时器复零，才能启动下次辐照。

(5) 有控制超剂量的联锁装置，当剂量超过预选值时，可自动终止照射。

(6) 有剂量分布监测装置与辐照终止系统联锁，当剂量分布偏差超过预选值时，

可自动终止辐照。

(7) 有全部安全联锁设施检查装置，能保证所有安全联锁系统保持良好的运行状态。

(8) 有门机安全联锁，机房门关闭后设备才能开机，被打开时会自动关机。

(9) 有时间控制联锁，当预选照射时间已定时，定时器能独立地使照射停止。

(10) 控制台和治疗室内均安有急停开关。

(11) 机房门外设置有声音警示作用的工作状态指示灯和电离辐射警示标志。

(12) 电视监控、对讲装置：治疗室和控制室之间安装有电视监控、对讲装置，控制室能通过电视监视治疗室内患者治疗的情况，并通过对讲机与室内人员联系，以便医师在操作时观察患者在治疗室的状态，及时处理意外情况。

11.9.5 后装机辐射事故影响分析

11.9.5.1 辐射事故类型

①在后装机对病人的治疗过程中，可能发生警示灯和联锁装置损坏，治疗室防护门意外开启，人员误认为治疗完成，误入后装机治疗室中，可能导致误入人员的误照射；

②在后装机的运行期的治疗过程中，以及更换放射源的过程中，需要进行出源和回源操作，在此过程中可能出现卡源，使放射源不能回到设备的贮源器中，此时放射源处于裸源状态，可能会对人员造成误照射；

③在后装机投入使用较长时间后，工作贮源器有可能出现破损，导致治疗室内的辐射水平增高，可能对人员造成误照射；

④在后装机投入使用较长时间后，输源管可能会出现老化损坏进而脱落，导致放射源掉落，可能导致人员的误照射；

⑤在不进行治疗时，放射源一直位于后装机中，可能会出现放射源丢失、被盗的情况。

11.9.5.2 辐射事故预防措施

项目投入运行后，工作人员应严格按照制度规程操作，并且加强安保管理，严格监控，避免辐射事故发生；在处理放射源事故中应讲究实效，方法要科学有效，防止盲目操作而受到超剂量照射。

一旦发生辐射事故，立即启动辐射事故应急预案，并及时向当地生态环境主管部门、公安部门及卫生主管部门报告，妥善处理事故，采取以下措施：

- (1) 在控制台上观察错误信息或紧急指示（声、光报警信号）；
- (2) 按下急停开关，使放射源回到后装机储源器中；
- (3) 携带便携式辐射测量设备进入治疗室内（打开防护门激活联锁，使放射源回到屏蔽位置）；
- (4) 监测室内辐射水平；
- (5) 后装治疗机上恢复源回到安全位置（在后装治疗机上按紧急停机按钮）；
- (6) 手动回源（采用一个子摇柄）；
- (7) 检测患者和后装设备（验证源处于安全位置）；
- (8) 移出施源器，放置于应急容器内；
- (9) 检测患者和应急容器（验证患者体内和容器内没有放射源）；
- (10) 将患者移出治疗室（在检测后）。

针对具体的事故，需采取的具体措施如下：

(1) 当发现人员误入治疗室时，应立即通知误入人员离开，并同时按下急停开关，使放射源回到贮源器中。人员退出治疗室后，然后对误入人员进行剂量评估，必要的健康检查及治疗。

(2) 在调试过程中出现卡源事故时，若后装机不能自动回源，应立即按下治疗控制面板上的红色急停开关，启动回源装置，若回源不成功时，启动手动回源，在手动回源时，进入治疗室操作的人员应穿戴铅衣等防护用品，携带辐射监测和报警设备进入治疗室，掀起治疗机顶部的检修口，按照贴在金色手柄旁边的箭头指示方向，转动金色手柄，直到转不动为止，然后用辐射剂量仪确认源已经被收回到机器的安全屏蔽罐中。操作时注意尽量保持与放射源较远距离并计时，单名操作人员不可超过7.85min，若预估该时间内不能完成，应提前更换操作人员。

若仍然不能成功回源，应有维修工程师穿戴铅衣等防护用品，携带辐射监测和报警设备进入治疗室对设备进行维修。

(3) 在治疗过程中出现卡源事故时，若后装机不能自动回源，应立即按下治疗控制面板上的红色急停开关，启动回源装置，若回源不成功时，启动手动回源，在手动回源时，进入治穿过容器边缘的凹槽，将放射源导入应急贮源器中，盖上盖子。将辐射警告标签挂在容器外，指示容器内有放射性核素材料，置于治疗室内，关闭防护门，对患者进行剂量评估并通知维修工程师对后装机进行检查维修。

(4) 贮源器出现泄露时，应停止治疗工作，按照倒源流程将源导入备用贮源器中，然后联系厂家进行贮源器的更换。

(5) 当输源管脱落导致放射源掉落时，医生应穿戴铅衣等防护用品，多人轮次携带监测及报警设备进入治疗室，使用长柄镊子将掉落的放射源放入备用的贮源器中，每位人员进入治疗室操作时间不得超过20s，然后联系维修工程师对后装机进行检修。

(6) 当发生放射源丢失时，应启动医院辐射事故应急预案，立即封锁现场，并在2小时内填写《辐射事故初始报告表》，向当地生态环境主管部门、公安部门和卫生主管部门报告。

11.9.6 DSA和ERCPC及其他III类射线装置

(1) II类和III类射线装置事故工况主要包括以下两种情况：

①控制室操作人员或病人家属在防护门关闭后未撤离机房，而射线装置出束时造成的误照射。

②机房安全联锁装置发生故障状况下，人员误入正在运行的机房。

(2) 预防措施

各射线装置将放置于专用机房内，机房墙体采用龙骨钢架+铅板进行屏蔽或实心砖墙+防护涂料进行评比，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。因此射线装置发生的辐射事故及风险主要原因是管理上出的问题，工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报环保部门和卫生部门，并接受监督部门的处理。

11.9.7 机房的安全保卫措施

为确保项目各辐射工作场所的安全，医院拟采用的安全保卫措施如下：

(1) 防火措施：各机房四周为实体结构墙体隔断，机房周围均没有易燃、易爆、腐蚀性等其他一切物品。

(2) 防水措施：机房四周墙体防水性强，防水设计施工由专业施工队伍进行施工，对容易造成局部损坏的薄弱部位设置增强层。

(3) 防盗措施：各辐射工作场所拟安装摄像头，和医院保卫科监控系统连接起来，且有保安人员 24h 巡逻和值班。

(4) 防丢失和破坏措施：各辐射工作场所纳入医院日常安保巡逻工作范围，并划为重点区域，加强巡视管理，以防遭到破坏。

(5) 防射线泄漏措施：本项目机房由具有资质的单位设计、经计算满足环保要求。

综上，本项目各辐射工作场所的防火、防水、防盗、防丢失和防破坏以及防射线泄漏六防措施可行。

11.9.8 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中定期进行演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境管理机构的设置

12.1.1 机构设置

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》相关要求，使用II类射线装置的，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，且至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作。

新昌县人民医院已成立了放射防护管理小组，负责全院辐射安全与防护监督管理工作。目前管理小组具体成员如下：

组 长：董永强

成 员：胡少波 谢小西 陈立群 梁红梅 潘月敏 娄秋平

该管理机构的基本组成涵盖各射线装置各使用部门，在框架上基本符合要求。

放射防护管理小组的主要职责是：指导和监督医院加强辐射安全与防护工作的管理，保证医疗质量和医疗安全，保障放射诊疗人员、患者和公众的健康权益；建立健全辐射安全与防护管理工作制度，保证辐射防护安全和放射诊疗治疗符合有关规定、标准和规范的要求；组织医院放射诊疗工作人员接受专业技术、辐射防护知识及有关规定的培训和健康体检；制定辐射事件应急处理预案，并组织演练；将辐射防护纳入医疗质量检查的内容，定期组织对放射诊疗工作场所、设备和人员进行辐射防护检测、监测和检查。可见，医院放射防护管理小组设置满足要求。

12.1.2 辐射人员管理

(1) 职业健康检查

本项目新增辐射工作人员应进行岗前、在岗期间和离岗职业健康检查，每一年或两年委托有相关资质的单位对现有辐射工作人员进行职业健康检查，建立职业健康档案。

(2) 辐射工作人员培训

本项目新增辐射工作人员，上岗前应参加浙江卫生计生监督微信公众号或生态环境部在线平台的辐射防护与安全培训，经考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。

(3) 个人剂量检测

本项目新增辐射工作人员均拟配备个人剂量计，并按期（一般为 1 个月，最长不超过 3 个月）委托有资质单位进行个人剂量监测，并建立个人剂量档案。

本项目辐射工作人员的职业健康档案记录、人员培训合格证书、个人剂量监测档案三个文件上的人员信息应统一；职业照射个人监测档案应终生保存。建设单位应设专人进行环保档案的整理、存档，项目环保档案应包括：项目环境影响评价资料、相关环保会议纪要、辐射安全许可证申请资料、项目竣工环境保护验收资料、日常监测资料（或台账）、辐射工作人员培训资料、体检报告、个人剂量监测报告及相关调查资料。以上资料按年度进行整理、规范化保存，发现问题及时上报、解决，以满足生态环境主管部门档案检查的要求。

12.1.3 年度评估报告

新昌县人民医院已按要求进行了辐射安全与防护状况评估，每年定期上报至发证机关。本项目建成运行后，医院应将本项目纳入年度评估报告，定期上报至发证机关。经与医院核实，医院历年未发生辐射事故。

12.2 辐射安全管理规章制度

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，使用放射性同位素、射线装置的单位，应有“健全的操作规程、岗位职责、辐射防护与安全保卫制度、设备检修维护制度、人员培训计划、监测方案等，还应有完善的辐射应急措施”。

根据医院提供的辐射防护工作管理制度，医院已制定的辐射防护工作制度有：受检者放射危害告知与防护制度、放射工作人员职业健康管理制、辐射安全管理制度、放射工作场所防护检测制度、放射工作人员培训制度、X线机使用操作规程、安全防护管理制度、放射安全事件应急预案等制度。

鉴于建设单位目前尚未有核医学科和放疗科，尚未有相关的核医学放射防护管理制度，在本项目建设后运行中，建设单位应根据本项目核技术利用项目的特点，制定和完善以下方面的管理制度，并对现有制度进行补充和完善，以保证核医学科和放疗科放射诊疗工作安全有序开展。

- (1) 安全管理制度：根据项目的具体情况制定辐射防护和安全保卫制度；
- (2) 放射性药物的采购、领取、保管等制度；
- (3) 放射性药物登记、使用、核对及注销制度；
- (4) 放射性核素安全操作及防护制度；
- (5) 放射性三废的管理：放射性三废的管理规定，对放射性三废的收集、处理、

处置等作出的明确规定；

(6) 核医学科仪器使用和管理制度以及 PET/CT 设备、SPECT/CT 设备的操作规程；

(7) 直线加速器的操作规程；

(8) 后装机的操作规程；

(9) 放射源安全管理制度

(10) 放射源转让、使用、更换、返回、贮存管理制度。

12.3 辐射监测

辐射监测是安全防护的一项必要措施，通过辐射剂量监测得到的数据，可以分析判断和估计电离辐射水平，防止人员受到过量的照射。根据实际情况，项目单位需建立辐射剂量监测制度，包括工作场所监测和个人剂量监测。

12.3.1 监测计划

A、年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的剂量进行监测，监测周期为 1 次/年；年度监测报告应作为《辐射安全和防护状况年度评估报告》的重要组成部分一并提交给发证机关。

B、日常自行监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

C、监测内容和要求

监测内容：周围剂量当量率； β 表面污染水平等、放射性废水、放射性固废、放射性气溶胶。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-1 辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
核医学科	β表面污染	放射性核素操作台面、设备表面、墙壁和地面，给药后患者候诊室，放射性废物桶和包装袋表面，工作人员手、皮肤暴露部分及工作服、手套、鞋、帽等	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年
	周围剂量当量率	控制区和监督区所有工作人员和公众可能居留的有代表性点位和存有放射性物质的装置/设备的表面	1次/月	1次/年
	放射性废水	衰变池排放口总α≤1Bq/L、总β≤10Bq/L	每次排放前	1次/年
	放射性固废	污物间（每袋废物表面剂量率处于本底水平，β表面污染小于0.8Bq/cm ² ）	每次排放前	1次/年
直线加速器	周围剂量当量率	加速器机房防护门外、门缝、电缆线沟、进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处	1次/季	1次/年
后装机	周围剂量当量率	后装机防护门外、门缝、电缆沟，进排风管口、控制室操作位、四侧墙体外30cm处，顶棚外30cm处	1次/季	1次/年
DSA 机房、ERCP机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室操作位、各侧屏蔽墙外30cm处及周围需要关注的监督区	1次/季	1次/年
III类射线装置机房	周围剂量当量率	防护门外、门缝、控制室操作位、各侧屏蔽墙外30cm处及周围需要关注的监督区	1次/季	1次/年

监测范围：控制区和监督区域及周围环境

(3) 放射性固废处理

含 ¹⁸F 和 ^{99m}Tc 核素的放射性固废在污物间贮存衰变 30 天后、含 ¹³¹I 核素的放射性固废在污物间贮存衰变 180 天后可作为一般医疗废物进行处理。

医院应建立固废排放台账，每次固废排放应详细记录固废排放量、固废种类、核素种类、贮存时间等参数，并存档备查。

(4) 放射性废水排放

放射性废水在衰变池贮存大于 180 天后，则废水中总β浓度满足《医疗机构水污染物排放标准》(GB18466-2005)规定的限值（总β≤10Bq/L）。

医院应安排专人负责，建立放射性废水暂存和排放台账，记录每次废水核素名称、排放量、废液产生起始日期、责任人、排放时间、监测数据等参数，并存档备查。

12.4 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办

法》（国环规环评[2017]4号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》（生态环境部公告2018年第9号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。

12.5 辐射应急

12.5.1 应急预案的要求

根据国务院第449号令《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十一条对辐射事故应急预案内容的要求，辐射事故应急预案应当包括下列内容：

- （1）应急机构和职责分工；
- （2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；
- （3）辐射事故分级与应急响应措施；
- （4）辐射事故的调查、报告和处理程序。

12.5.2 医院现有应急预案存在的问题与不足

根据医院目前制定的《放射安全事件应急预案》，包括了辐射事故应急处理机构与职责、放射性事故应急救援应遵循的原则、放射性事故应急处理程序。此辐射事故应急预案存在的问题有：

（1）此预案缺少“应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备”，应按照相关法律法规要求补充完整；

（2）此预案应按照医院现有射线装置的类型及本项目新增医用直线加速器、后装机、SPECT/CT、PET/CT、及^{99m}Tc、¹⁸F等核素的特点，补充完善相关事故处理措施和流程。

12.5.3 辐射事故上报的要求

对于在医院定期监测或委托监测时发现异常情况的，应根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》和《关于建立放射性同位素与射线装置事故分级处理报告制度的通知》等要求，向生态环境主管部门报告。在发生辐射事故时，事故单位应当立即启动本单位的辐射事故应急方案，采取必要防范措施，并根据要求在2h内填写《辐射事

故初始报告表》，向生态环境主管部门和公安部门报告，造成或者可能造成人员超剂量照射的，还应当同时向卫生部门报告。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 辐射安全与防护分析结论

(1) 辐射安全防护措施结论

①核医学科

辐射防护设计：本项目核医学科辐射工作场所四周墙体采用实心砖+硫酸钡防护涂料作为屏蔽材料，顶棚为混凝土板作为屏蔽材料，防护门为内衬铅板，观察窗为铅玻璃，其防护铅当量满足防护屏蔽要求，对 β 射线和 γ 射线起到了有效的屏蔽。

辐射防护设施：对辐射工作场所进行分区管理，划分为监督区和控制区，控制区并设置相应的警示标志，限制无关人员进入。建设单位制定拟制定针对性的操作规程，职业人员工作时穿戴铅衣、铅围脖，佩戴防护眼镜等辐射防护用品。为辐射工作人员配备了个人剂量计，并配备了个人剂量报警仪，场所配备X- γ 辐射监测仪、表面污染监测仪等；定期对辐射工作人员开展个人剂量监测和职业健康检查监护。在落实以上辐射安全措施后，核医学科辐射安全措施能够满足辐射安全防护的要求。核医学科分装注射室拟配备专用手套箱、放射药物专用注射窗；核医学科工作场所拟设置电离辐射警示标识、工作状态指示灯、对讲及监控设施；设置有满足要求的并联衰变池组、放射性固废收集铅桶、放射性废气专用排风管线及活性炭吸附装置。

②放疗科

本项目放疗科直线加速器、后装机机房采取了实体防护和专业辐射防护措施。机房为新建机房，均采用标准普通混凝土一次性浇筑，屏蔽厚度满足要求。

直线加速器机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，并设有迷道，防护门为铅门+含硼聚乙烯材料，其防护效果满足要求。防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门内设开门装置，防护门外设置电离警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统，迷道处设置有固定式剂量率报警仪等辐射安全设施。

后装机机房四侧屏蔽墙体及顶棚为现浇混凝土防护，并设有迷道，防护门为铅门，其防护效果满足要求。防护门设置门灯联锁、门机联锁和工作状态指示灯，防护门内设开门装置，防护门外设置电离警示标识，机房内和控制室均设置急停开关，设置视频监控和对讲系统，迷道处设置有固定式剂量率报警仪等辐射安全设施。

③介入中心DSA和内镜中心ERCP

DSA及ERCP机房四侧墙体采用实心砖墙+硫酸钡防护涂料进行屏蔽,地坪及顶棚采用混凝土进行实体屏蔽,各防护门均采用铅防护门,观察窗为铅玻璃,并配有个人防护用品,其屏蔽要求及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。

④搬迁III类射线装置

各III类射线装置机房四侧墙体采用实体屏蔽,各防护门均采用铅防护门,观察窗为铅玻璃,并配有个人防护用品,其屏蔽要求及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》(GBZ130-2020)的要求。

在满足实际工作需要的基础上对工作人员及公众进行了必要的防护,减少不必要的照射,根据理论估算分析结果,本项目拟采取的辐射防护措施能够符合辐射防护要求。

(2) 辐射安全管理结论

新昌县人民医院已成立放射防护管理小组,并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作;该院应根据实际情况及本报告要求,制定和完善相关辐射安全管理制度,以适应当前环保的管理要求;该院已对辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测,并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.2 环境影响分析结论

(1) 辐射影响分析结论

经模式预测,在正常工况下,本项目核医学科工作场所控制区边界外、直线加速器机房和后装机房各侧墙体及防护门外、DSA及ERCP及搬迁III类射线装置机房各侧墙体及防护门外30cm处辐射剂量率均小于目标控制值,对周围环境影响较小;本项目所致工作人员年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“限值”要求,也低于本次评价提出的5mSv年剂量约束值;项目所致公众年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)中关于“剂量限值”的要求,也低于本次评价提出的0.1mSv年剂量约束值。

(2) 核医学科“三废”影响分析

放射性废水在三个并联的衰变池停留180天以上,经监测达标后排入医院污水处理站进一步处理达标后纳入市政污水管网,对周围水环境影响很小。

核医学放射性固废采用专门的脚踏式铅桶收集后,含 ^{18}F 和 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 废物在污物间暂存

超过30天，含¹³¹I废物暂存超过180天后按一般医疗废物委托有资质单位处置，不外排，对周围环境影响较小。

核医学科产生的放射性废气经由风井排至医疗综合楼主楼楼顶排放，排放口高出屋脊，并设置活性炭吸附装置吸附处理后排放，对周围环境影响较小。

(3) 放疗科“三废”影响分析

直线加速器设置独立通排风系统，通风换气次数不低于4次/h，机房内产生的感生放射性气体和臭氧、氮氧化物对周围环境影响很小；更换的废靶件经监测满足清洁解控水平后由设备厂家回收。

后装机工作时产生的臭氧和氮氧化物经排风系统通风后，满足排放标准要求，对周围大气环境影响较小；更换的废源不在医院内贮存，由供源单位回收。

(4) DSA、ERCP及PET/CT、SPECT/CT配套用CT及搬迁Ⅲ类射线装置产污环境影响分析

射线装置在曝光过程中产生少量臭氧和氮氧化物，由于射线装置X射线能量较低，因此产生臭氧、氮氧化物份额极少，经各机房内机械排风系统排入大气环境后，臭氧经自然分解，对周围环境影响很小。

13.1.3 可行性分析结论

(1) 产业政策分析结论

根据《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订），项目新增DSA、ERCP属于第十三项“医药”中第五条“新型医用诊断医疗仪器设备和试剂、数字化医学影像设备，人工智能辅助医疗设备，高端放射治疗设备，电子内窥镜、手术机器人等高端外科设备，新型支架、假体等高端植入介入设备与材料及增材制造技术开发与应用，危重病用生命支持设备，移动与远程诊疗设备，新型基因、蛋白和细胞诊断设备”项目，属于国家鼓励类产业，符合国家现行产业政策。

项目新增核医学科、直线加速器及后装机属于第六项“核能”中第六条“同位素、加速器及辐照应用技术开发”，属于国家鼓励类产业，符合国家产业政策。

(2) 实践正当性分析结论

医院实施本项目，目的在于开展放射诊疗工作，最终是为了治病救人，其获得的利益远大于辐射所造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践的正当性”的要求。

(3) 相关规划及选址合理性结论

《新昌县人民医院迁建工程环境影响报告书》已取得绍兴市生态环境局批复，批复文号为：新环建字[2020]99号，本项目为其批复内容。根据其报告书结论，新昌县人民医院迁建工程用地性质为医疗卫生（兼容商业）用地，符合新昌县土地利用总体规划合新昌县总体规划要求。项目建设符合《新昌县“三线一单”生态环境分区管控方案》的要求。本项目拟建辐射工作场所边界外50m范围无居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜、水源保护区等环境敏感点，衰变池北侧50m范围涉及新昌技师学院建筑物。项目运营过程产生的电离辐射，经采取一定的辐射防护措施后对周围环境与公众的辐射影响是可接受的，因此项目符合相关规划，选址合理。

(4) 项目可行性

综上所述，新昌县人民医院迁建工程核医学科、后装机及射线装置核技术利用项目选址符合国家相关法律法规，平面布局合理可行。医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，其辐射工作场所辐射安全措施及安全管理措施满足从事相应辐射活动的要求，辐射工作人员和公众年有效剂量满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)的要求，营运期对周围环境产生的辐射影响在可接受范围内，因此本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

(1) 医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

(2) 医院承诺严格按照本报告的屏蔽防护设计方案、辐射安全措施、辐射安全设施及装置、“三废”治理装置及措施等辐射环保内容进行建设。

(3) 医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

(4) 医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

(5) 医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

(6) 医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见:

公 章

经办人

年 月 日

审批意见:

公 章

经办人

年 月 日